

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа энергетики
Отделение электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Асинхронный электропривод сверлильного станка
УДК 62-83-523:621.952

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Буда Владимир Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А.Ю.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав.отделением	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетики и электротехники	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., к.т.н., профессор		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись)

(Дата)

Дементьев Ю.Н.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Буда Владимиру Сергеевичу

Тема работы:

Асинхронный электропривод сверлильного станка	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 873/с от 13.02.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является регулируемый электропривод сверлильного станка на основе асинхронного двигателя. В качестве исходных данных представлены:</p> <p>Напряжение питающей сети $U_{пит}=380\text{ В}$;</p> <p>Частота питающей сети, Гц-50</p> <p>Скорость двигателя, об/мин-1000</p> <p>Мощность двигателя, кВт-18,5</p>
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Исследование электропривода сверлильного станка на основе асинхронного двигателя; Расчет и выбор силового оборудования; Построение механических и электромеханических характеристик; Моделирование переходных процессов.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Панин В.Ф.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры менеджмента Калмыкова Е.Ю.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

06.02.2018

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А.Ю.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Буда Владимир Сергеевич		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики
Отделение электроэнергетики и электротехники

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.03.2018	<i>Общие вопросы проектирования</i>	...
06.04.2018	<i>Выбор преобразователя частоты</i>	...
21.04.2018	<i>Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя</i>	
25.04.2018	<i>Построение естественных и искусственных характеристик</i>	
07.05.2018	<i>Моделирование работы в среде моделирования Matlab</i>	
10.05.2018	<i>Социальная ответственность</i>	
20.05.2018	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	
27.05.2018	<i>Оформление результатов работы и выводов по работе. Формирование файла дипломной работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев А.Ю.	к.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Зав.отделением	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетики и электротехники	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, к.т.н., профессор		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Универсальные компетенции	
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники.
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники.
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.
Профессиональные компетенции	
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
P8	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P9	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
P12	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 71 с., 24 рис., 14 табл., в процессе выполнения использовалась информация из 21 источников.

Ключевые слова: полная мощность, активная мощность, асинхронный двигатель, электропривод, искусственные характеристики, естественные характеристики, преобразователь частоты.

Объектом исследования является скалярный электропривод сверлильного станка на основе асинхронного двигателя.

Целью работы – является создание электропривода сверлильного станка на основе асинхронного двигателя.

В процессе работы был проведен расчёт и выбор электрооборудования, рассчитаны параметры элементов и характеристик силовой цепи. Исследован разработанный электропривод методом имитационного моделирования.

В результате выполнения работы был спроектирован и исследован скалярный асинхронный электропривод полностью соответствующий техническому заданию.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Исследовать регулируемый электропривод, предварительно проводя расчет параметров элементов силовой цепи и структурно-параметрический синтез регуляторов САУ.

Параметры питающей сети:

Напряжение питающей сети, – 380 В ;

Частота питающей сети, – 50 Гц;

Требования, предъявляемые к электроприводу:

Регулирование плавное;

Перерегулирование скорости не более 10% ;

Электропривод асинхронный ;

Время регулирования скорости не более 6 с.

Оглавление	
РЕФЕРАТ	6
ВВЕДЕНИЕ.....	10
1. Объект автоматизации. Механизм. Технологический процесс.	12
1.1 Процесс сверления.....	12
1.2 Сверлильные станки. Описание.....	12
1.3 Назначение и классификация сверлильных станков. Основные характеристики.....	12
2. Общие вопросы проектирования	15
3. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя.	18
3.1 Параметры асинхронного двигателя	18
3.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя	18
3.3 Построение и расчёт статических характеристик регулируемого электропривода.	21
3.3.1 Расчет естественных электромеханических характеристик	21
3.4 Расчет естественной механической характеристики.....	25
3.5 Структурная схема асинхронного двигателя.....	26
3.6 Расчет переходных процессов пуска асинхронного двигателя.	29
3.6.1 Выбор типа преобразователя.....	31
3.7 Обоснование и выбор структурной схемы электропривода переменного тока со скалярным регулированием скорости и компенсацией момента и скольжения.....	33
3.7.1 Расчет электромеханических и механических характеристик системы.....	35
3.7.2 Анализ полученных результатов	38
3.7.3 Разработка схемы имитационной модели электропривода при скалярном частотном регулировании скорости и законом регулирования частоты преобразователя класса $U_{1j}/\sqrt{f_{1j}} = const$ с компенсацией момента.....	38
ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	45
4.1 Анализ конкурентных технических решений	45
4.2 SWOT – анализ	47
4.3 Планирование научно – исследовательских работ.....	49
Определение трудоемкости выполнения работ	50
4.4 Бюджет научно – технического исследования (НТИ).....	54
Формирование бюджета затрат научно – технического исследования	57
4.5 Вывод исследования	58
СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	61
5.1 Введение	61
5.2 Анализ вредных факторов	61
5.2.1 Шум.....	62
5.2.2 Вибрация.....	63
5.2.3 Недостаток естественного света	64

5.2.4 Микроклимат	66
5.3. Анализ опасных факторов	67
5.3.1 Электропоражение	68
5.3.2 Возгорание (пожар).....	69
5.4 Защита окружающей среды	70
5.5 Предотвращение ЧС и устранение их последствий	71
5.5.1 Пожар (возгорание) – как источник ЧС.....	72
5.5.2 Электропоражение как источник ЧС.....	72
Заключение	75
Список используемых источников	76

ВВЕДЕНИЕ

Вертикальный сверлильный станок предназначен для формирования отверстий в металлических и деревянных заготовках. Рабочую зону закрывает прозрачный пластиковый кожух, который предотвращает вылет искр и стружки. В основании станка предусмотрены пазы для установки зажимного механизма, что расширяет возможности обработки. В настоящее время для привода большинства производственных механизмов применяются асинхронные двигатели с частотным регулированием скорости.

Асинхронные двигатели получили широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря большой эксплуатационной надежности и несложной технологии изготовления, меньшему весу, габаритам и стоимости по сравнению с двигателями постоянного тока.

Короткозамкнутые обмотки беличьей клетки роторов асинхронных двигателей на мощности до нескольких сотен киловатт выполняют заливкой пазов алюминием, либо его сплавами. Одновременно с заливкой стержней отливают и замыкающие кольца, и вентиляционные лопасти. Стержни обмотки не изолируют от штампованных пластин сердечника ротора. Такая конструкция ротора позволяет получить двигатель с малым моментом инерции, к тому же он может работать при повышенных температурах, а при тщательной балансировке и повышенных угловых скоростях вращения, достигающих десятков тысяч оборотов в минуту.

В электрических машинах переменного тока нет ограничений по максимальной мощности, а питание обмотки статора может производиться от сети с напряжением в десятки киловольт. Неимение щеточно-коллекторного узла заметно снизило эксплуатационные затраты на обслуживание электродвигателей переменного тока.

В двадцатом веке асинхронные машины применялись, как правило, в нерегулируемых электроприводах, пуск которых осуществлялся прямым включением в сеть с помощью магнитных пускателей. Современные пусковые

устройства нерегулируемых электроприводов переменного тока позволили производить более экономичные и надежные в эксплуатации электроприводы. В последние годы из-за возникновения новых поколений транзисторов и тиристоров, а также весьма не дорогих микропроцессоров высочайшего быстродействия расширяется применение регулируемых электроприводов переменного тока, основу которых составляют асинхронные электроприводы.

1. Объект автоматизации. Механизм. Технологический процесс.

1.1 Процесс сверления

Сверление относится к механической обработке материалов при помощи резания. При помощи вращающегося сверла можно получить отверстия различного глубины и диаметра.

К целям применения сверления относят:

- Исполнение отверстий под резьбу и растачивание
- Исполнение отверстий для расположения в них крепёжных элементов, кабелей, проводов.
- Ослабление конструкций с целью последующего разрушения

1.2 Сверлильные станки. Описание

Сверлильные станки предназначены для получения отверстий, расточки, обработки в различных материалах (заготовках).

По способу управления станки подразделяются на:

- станки на ручном управлении
- станки с ЧПУ
- полуавтоматические станки.

1.3 Назначение и классификация сверлильных станков.

Основные характеристики.

Определяющим моментом при выборе станка является предельная глубина отверстия, которое высверливается станком, а также вылет и ход шпинделя. Чем выше ход шпинделя тем многофункциональнее сверлильный станок. Но не менее важна и скорость станка.

Сверлильные станки применяются во многих сферах, учреждениях и предприятиях. Станки могут располагаться в сборочных, механических, строительных, учебных заведениях, сельскохозяйственных организаций, ремонтных мастерских цехов крупных предприятий и заводов.

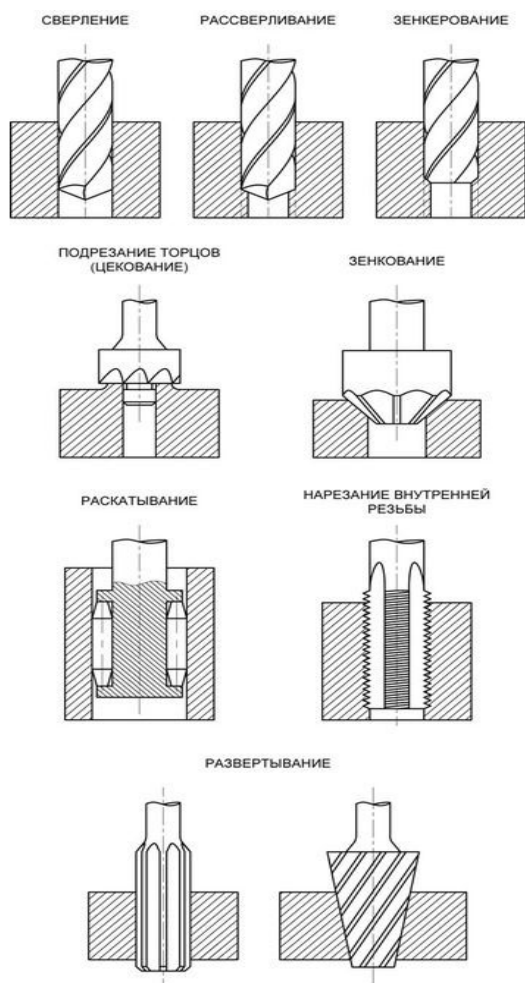


Рисунок 1 – Операции выполняемые сверлильным станком

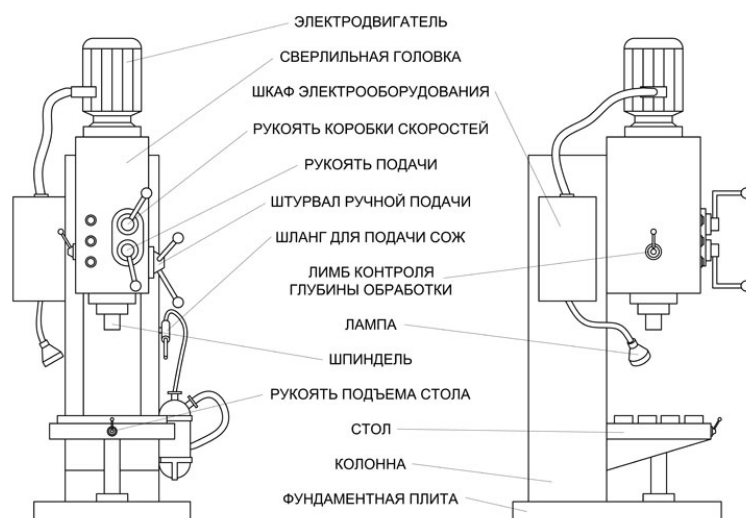


Рисунок 2 – Чертеж сверлильного станка

Сверлильные станки нашли своё применение во множестве отраслей. Они могут применяться как для предприятий тяжелой

промышленности так и для предприятий относящихся к малому и среднему бизнесу.

2 .Общие вопросы проектирования

Наиболее эффективные методы регулировки скорости короткозамкнутого асинхронного двигателя связаны с переменной скорости вращения электрического поля статора [1]

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{z_p}, \quad (1)$$

где f – частота; z_p – число пар полюсов.

Из следует, что регулирование скорости вращения электромагнитного поля осуществляется двумя способами:

- изменением количества пар полюсов;
- изменением частоты напряжения статора двигателя.

В настоящее время всё шире применяются во многих технических отраслях способы частотного регулирования скорости ЭП с АД. Преобразователь частоты отвечает за преобразование переменного напряжения питающей сети в переменное с регулируемой частотой. На данный момент преобразователи частоты изготавливают на базе силовых полупроводниковых ключей. Обширное использование преобразователей частоты стало возможно с появлением биполярных транзисторов с изолированным затвором.

Существует два вида преобразователей частоты по типу соединения с источником питания:

- частотные преобразователи с прямым соединением;
- частотные преобразователи с каналом постоянного тока.

Частотные преобразователи со связью в постоянном токе, в свою очередь, подразделяются на частотные преобразователи с постоянным током (АИТ, АИН)

В конструкцию автономных инверторов входят силовой фильтр, выпрямитель и инвертор, который преобразует постоянное напряжение в переменное напряжение на заданную частоту.

На рисунке 1 показан электропривод с автономным инвертором напряжения, с использованием IGBT-транзисторов.

Индуктивный характер нагрузки обычно восполняется когда вы не можете получить доступ к источнику питания в конденсаторе фильтра.

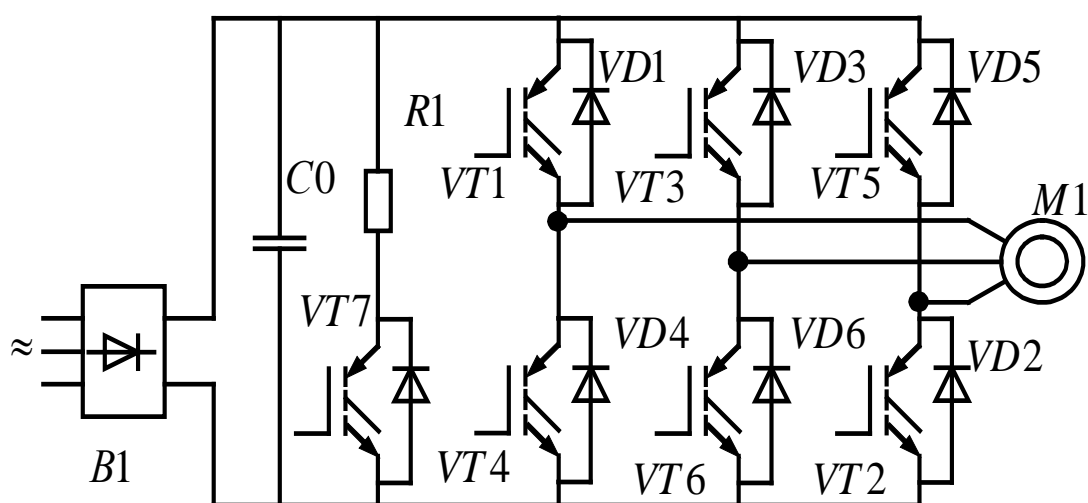


Рисунок 3 - Асинхронный ЭП с применением автономного инвертора напряжения на IGBT-транзисторах

Поскольку IGBT-транзисторы могут переключаться на гораздо более высокие частоты, чем тиристорные переключатели, форма тока, протекающего через обмотки двигателя, становится намного более похожа на синусоиду.. На рис. 4 показаны токи статора асинхронного двигателя при низкой (а) и высокой (б) частоте ШИМ - модулятора инвертора напряжения.

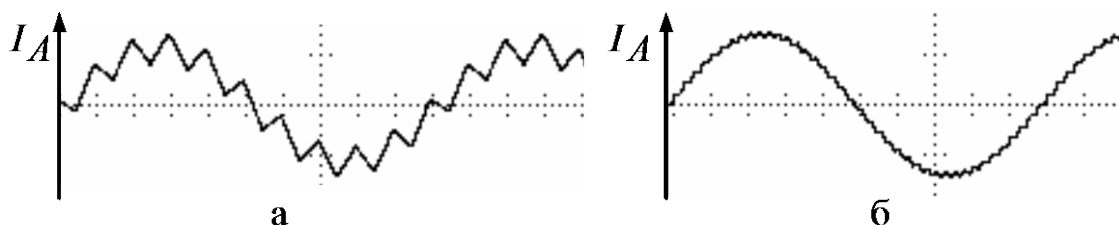


Рисунок 4 - Осциллограммы токов статора асинхронного двигателя при низкой (а) и высокой (б) опорного напряжения несущей частоты ШИМ модулятора

В электроприводах, которые имеют зоны рекуперации энергии или высокую интенсивность режимов работы торможения для эффективного торможения, необходимо предусмотреть специальный блок энергоснабжения, состоящий из дополнительного ключа и резистора. Ключ открывается, когда напряжение превышает определённое значение, так что энергия «сбрасывается» в резистор, который рассеивает энергию. Основными типами инверторов со звеном постоянного тока являются инверторы напряжения и инверторы тока.

Преимуществами инверторов напряжения являются:

- получение более жёсткой вольт - амперной характеристики (ВАХ);
- регулирование частоты в большем диапазоне;
- возможность работы с одним и более двигателями;

Недостатком является проблематичность обеспечить рекуперацию электрической энергии в сеть.

3. Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя.

3.1 Параметры асинхронного двигателя

В качестве наиболее подходящего под исходные данные двигателя был выбран двигатель RA200 LA6.

Паспортные данные электродвигателя типа RA200LA6 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры двигателя RA200LA6.

Тип	n_0 , об/мин	$U_{\text{лн}}$, В	$P_{\text{дв.н}}$, кВт	При номинальной нагрузке			$J_{\text{дв}}$, кг·м ²
				$s_{\text{н}}$, %	$\cos \varphi_{\text{н}}$	$\eta_{\text{н}}$, %	
RA200LA6	1000	380	18,5	3	0,75	86,8	0,204

Продолжение таблицы 1.

$k_{\text{п}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{н}}}$	$k_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}}$	$k_{\text{мин}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{н}}}$	$k_{i_{\text{дв}}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н}}}$
1,8	2,7	0,9	5,5

3.2 Определение параметров схемы замещения электродвигателя

Параметры определяющие схему замещения вычислим по методике, показанной в [4].

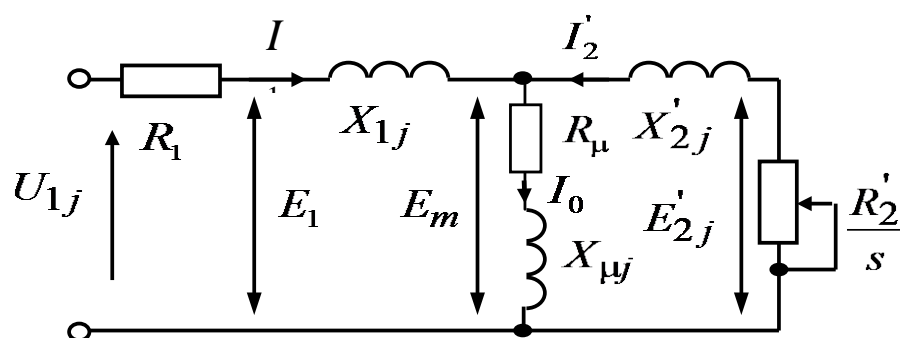


Рисунок 5– Схема замещения

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p^* \cdot I_{1H} \cdot \frac{1-s_H}{1-p^* \cdot s_H} \right)^2}{1 - \left(p^* \cdot \frac{1-s_H}{1-p^* \cdot s_H} \right)^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{29,89^2 - \left(0,75 \cdot 39,291 \cdot \frac{1-0,03}{1-0,75 \cdot 0,03} \right)^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1-0,03}{1-0,75 \cdot 0,03} \right)^2}} = 9,265 \text{ A},$$

где:

$$I_{1H} = \frac{P_{\text{двн}} \cdot 1000}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{18,5 \cdot 1000}{3 \cdot 220 \cdot 0,75 \cdot 0,86} = 36,057 \text{ A} \quad - \quad \text{НОМИНАЛЬНЫЙ ТОК}$$

статора;

Коэффициент мощности при частичной нагрузке

$$\cos \varphi_z = 0,808.$$

Коэффициент, характеризующий отношение $\frac{X_\mu + X_{1\sigma}}{X_\mu}$;

$$c_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{9,265}{2 \cdot 5,5 \cdot 39,291} = 1,021$$

Значения коэффициента β может быть найдено в интервале 0,6–2,5, примем $\beta = 1$.

Определим коэффициент:

$$A_1 = m \cdot U_{1H}^2 \cdot \frac{1-s_H}{2 \cdot C_1 \cdot m_k \cdot P_H} = 3 \cdot 220^2 \cdot \frac{1-0,03}{2 \cdot 1,021 \cdot 2,7 \cdot 18500} = 1,38$$

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{C_1 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{1,38}{1,021 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,175} \right)} = 0,201 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению:

$$R_1 = c_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,021 \cdot 0,201 \cdot 1 = 0,205 \text{ Ом.}$$

Определим параметр γ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_K :

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_k^2} \right) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0,175^2} \right) - 1^2} = 5,637,$$

тогда

$$X_{KH} = \gamma \cdot c_1 \cdot R_2' = 5,637 \cdot 1,021 \cdot 0,201 = 1,157 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению:

$$X_{1H} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 1,157 = 0,486 \text{ Ом.}$$

Так как $s_k = s_{k1}$, то корректировать значение коэффициента β не нужно.

Исходя из векторной диаграммы ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1H} \cdot R_1)^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi_H - I_{1H} \cdot X_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,82 - 39,291 \cdot 0,205)^2 + (220 \cdot 0,572 - 39,291 \cdot 0,486)^2} = 225,23 \text{ В.} \end{aligned}$$

где: $\sin \varphi_n = \sin(a \cos(\cos \varphi_n)) = \sin(a \cos(0,82)) = 0,572$.

Тогда индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{225,23}{9,265} = 24,309 \text{ Ом.}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_{1n}} = \frac{24,309}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,077 \text{ Гн.}$$

Рассчитанные параметры схемы замещения сведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	X_{1n} , Ом	L_{1n} , Гн	R_2' , Ом	X_{2n}' , Ом	L_{2n}' , Гн	X_μ , Ом	X_{kn} , Ом	L_μ , Гн
0,205	0,486	0,00146	0,201	0,657	0,002091	24,309	1,157	0,077

3.3 Построение и расчёт статических характеристик регулируемого электропривода.

3.3.1 Расчет естественных электромеханических характеристик

Синхронная угловая скорость:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{3} = 104,72 \text{ рад / с}$$

Номинальная угловая скорость:

$$\omega_n = \omega_0 \cdot (1 - s_n) = 104,72 \cdot (1 - 0,03) = 101,578 \text{ рад/с}$$

Критическая угловая скорость:

$$\omega_k = \omega_0 \cdot (1 - s_k) = 104,72 \cdot (1 - 0,175) = 86,394 \text{ рад/с}$$

Естественная электромеханическая характеристика рассчитывается для частоты 50 Гц по выражению:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_2(s)}$$

Ток ротора вычисляется по формуле:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi_H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\kappa H}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}}$$

Ток в роторе при номинальном скольжении:

$$\begin{aligned} I_{2H}'(s) &= \frac{U_{1\phi_H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + X_{\kappa H}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu}\right)^2}} = \\ &= \frac{220}{\sqrt{\left(0,205 + \frac{0,201}{0,03}\right)^2 + 1,157^2 + \left(\frac{0,205 \cdot 0,201}{0,03 \cdot 22,478}\right)^2}} = 31,432 \text{ A} \end{aligned}$$

Ток в роторе при критическом скольжении:

$$\begin{aligned} I_{2\kappa p}'(s) &= \frac{U_{1\phi_H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\kappa p}}\right)^2 + X_{\kappa H}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\kappa p} \cdot X_\mu}\right)^2}} = \\ &= \frac{220}{\sqrt{\left(0,205 + \frac{0,201}{0,175}\right)^2 + 1,157^2 + \left(\frac{0,205 \cdot 0,201}{0,175 \cdot 22,478}\right)^2}} = 128,762 \text{ A} \end{aligned}$$

Действующее значение тока холостого хода вычисляется по следующему выражению:

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\kappa H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}}\right)^2 + X_{\kappa H}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot X_\mu}\right)^2}}$$

Действующее значение тока холостого хода при критическом

$$\begin{aligned} \sin \varphi_{2kp}(s) &= \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{kp}}\right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{kp} \cdot X_\mu}\right)^2}} = \\ &= \frac{1,157}{\sqrt{\left(0,205 + \frac{0,201}{0,175}\right)^2 + 1,157^2 + \left(\frac{0,205 \cdot 0,201}{0,175 \cdot 22,478}\right)^2}} = 0,649 \text{ A} \end{aligned}$$

Номинальный ток статора при номинальной частоте вращения:

$$\begin{aligned} I_1(\omega_n) &= \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega_n)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega_n) \cdot \sin \varphi_{2n}(s_n)} = \\ &= \sqrt{10,153^2 + 31,491^2 + 2 \cdot 10,153 \cdot 31,491 \cdot 0,572} = 34,626 \text{ A} \end{aligned}$$

Ток статора при критическом скольжении:

$$\begin{aligned} I_1(\omega_{kp}) &= \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega_{kp})^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega_{kp}) \cdot \sin \varphi_{2kp}(s_{kp})} = \\ &= \sqrt{10,153^2 + 127,131^2 + 2 \cdot 10,153 \cdot 127,131 \cdot 0,572} = 133,613 \text{ A} \end{aligned}$$

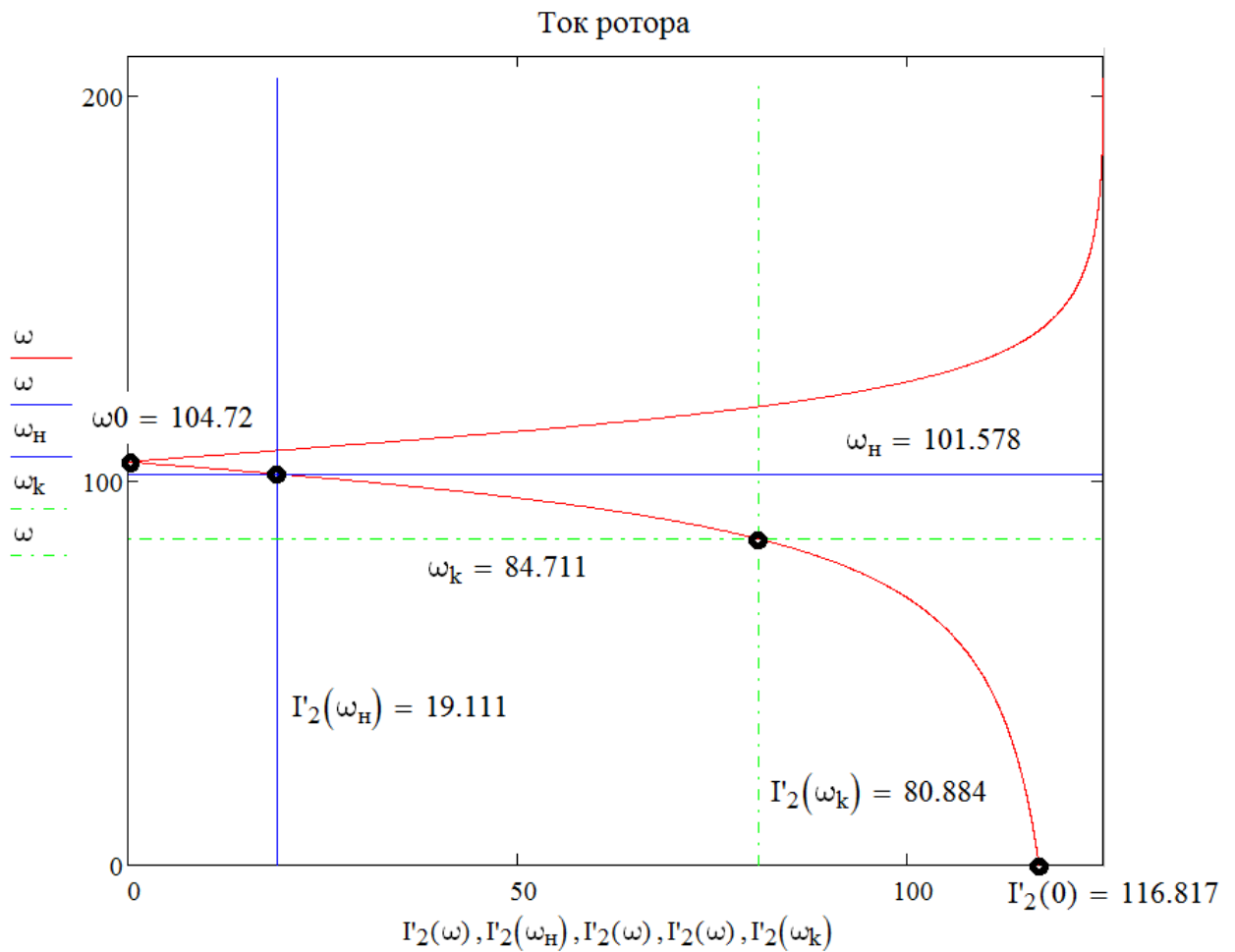


Рисунок 7 – Естественная электромеханическая характеристика для тока статора.

Анализ полученных результатов показывает что контрольные точки рассчитанные для электромеханической характеристики и точки, полученные по паспортным данным двигателя практически совпадают, поэтому определение параметров схемы замещения можно считать приемлемыми.

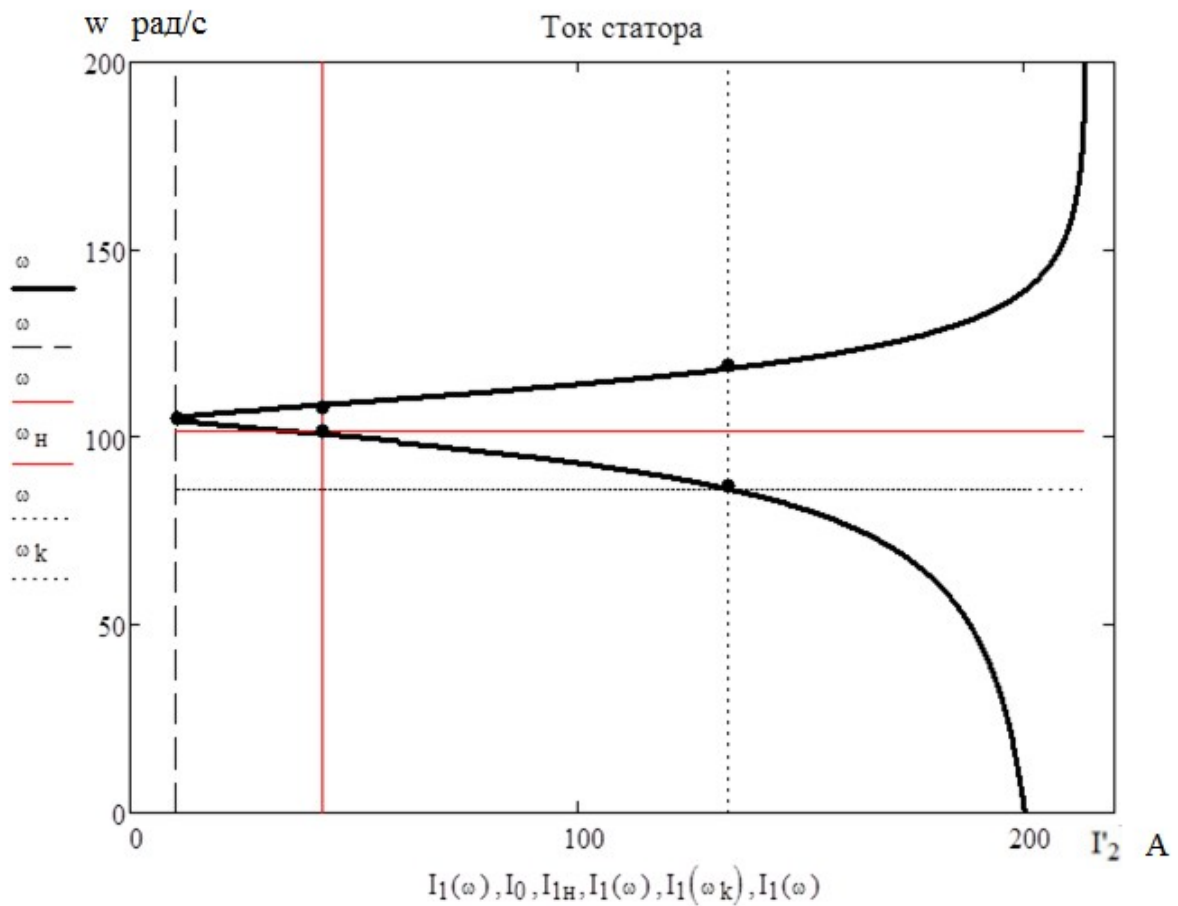


Рисунок 8 – Естественная электромеханическая характеристика для тока статора

Анализ электромеханических характеристик (рис. 8) показывает, что контрольные точки, рассчитанные для электромеханической характеристики и точки, полученные по паспортным данным двигателя практически совпадают, поэтому определение параметров схемы замещения можно считать приемлемыми.

3.4 Расчет естественной механической характеристики

Естественная механическая характеристика $M(\omega)$ электродвигателя для частоты $f_{1H} = 50 \text{ Гц}$ рассчитывается по выражению:

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 \right]}$$

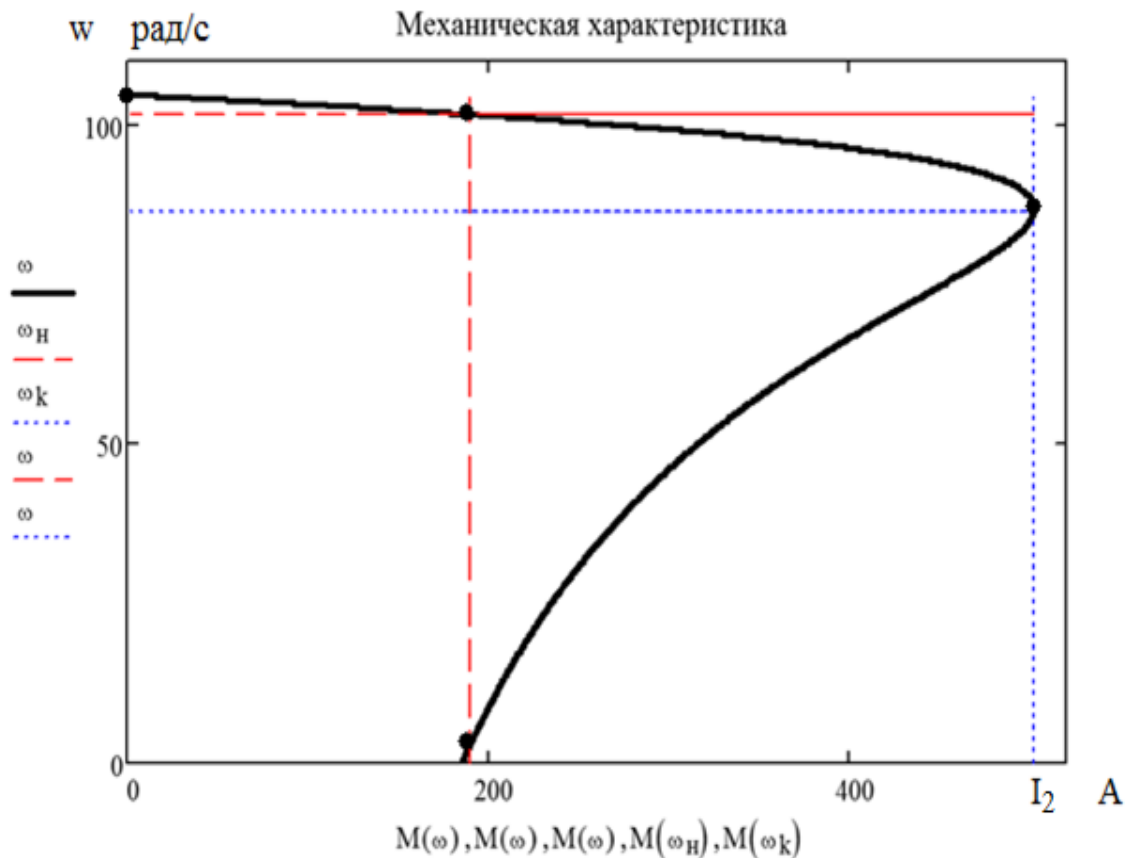


Рисунок 9 – Естественная механическая характеристика.

Анализ полученных результатов показывает что контрольные точки рассчитанные для электромеханической характеристики и точки полученные по паспортным данным двигателя практически совпадают, поэтому определение параметров схемы замещения можно считать приемлемыми.

3.5 Структурная схема асинхронного двигателя

Исследование переходных режимов асинхронного двигателя проведём в программе MATLAB Simulink. Схема имитационной модели расчета переходных процессов при пуске асинхронного двигателя прямым включением в сеть приведена на рис. 11. На рис. 11 представлена структурная схема

асинхронного двигателя, управляемого по цепи обмоток статора изменением частоты. Структурная схема определяется с учетом влияния электромагнитной инерции в цепях статора и ротора двигателя из упрощенной формулы Клосса

$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{кн}} \cdot U_{\text{IH}}}{\frac{s}{s_{\text{к}}} + \frac{s_{\text{к}}}{s}},$$

где $M_{\text{кн}}$ - критический момент двигателя при номинальном напряжении обмоток статора.

В формулу (2.6.1) подставим значение скольжения $s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$, и получим после преобразований

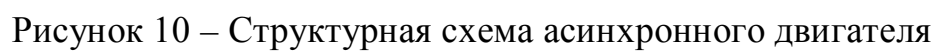
$$M = \frac{2 \cdot M_{\text{кн}} \cdot \omega_0 \cdot s_{\text{к}} (\omega_0 - \omega) U_{\text{IH}}^2}{(\omega_0 - \omega)^2 + s_{\text{к}}^2 \cdot \omega_0^2}.$$

Уравнение движения для установившегося режима работы электропривода

$$M - M_{\text{с}} = M_{\text{дин}} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}.$$

Подставим (2.6.3) в уравнение движения (2.6.4), получим, перейдя от приращений к абсолютным величинам [5]

$$k_{\text{м}} \cdot U_{\text{IH}} + k_{\beta} \cdot \omega - M_{\text{с}} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}.$$



3.6 Расчет переходных процессов пуска асинхронного двигателя.

Прямой пуск двигателя с последующим набросом нагрузки

На рисунке 12 изображена имитационная модель прямого пуска с набросом нагрузки в среде моделирования Simulink Matlab.

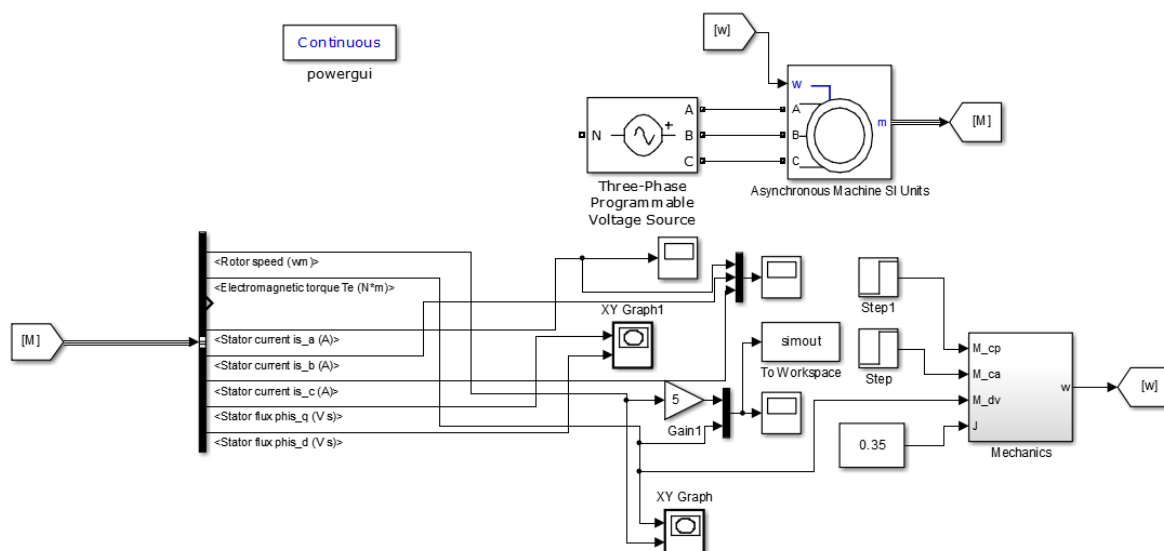


Рисунок 11 – Схема прямого пуска двигателя

На рисунке 11 изображены графики переходных процессов скорости, тока и момента двигателя при прямом пуске без нагрузки.

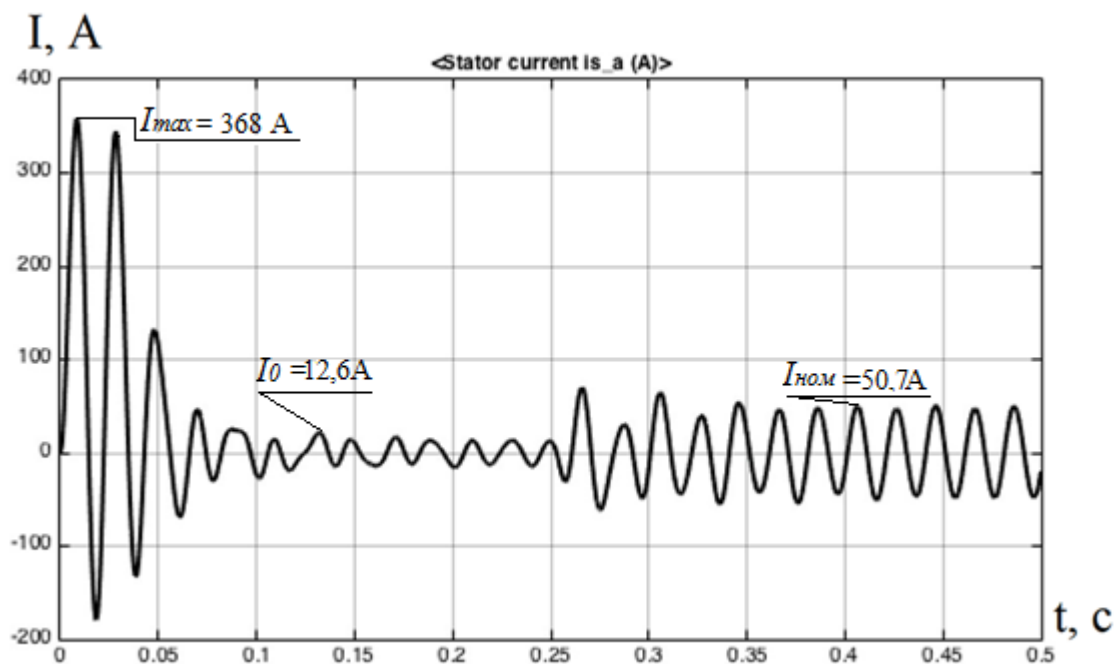


Рисунок 12 – Характеристика тока статора

Из графика, изображенного на рисунке 12 виден несущественный скачок тока статора в момент времени наброса нагрузки и дальнейшее его выравнивание на номинальном значении.

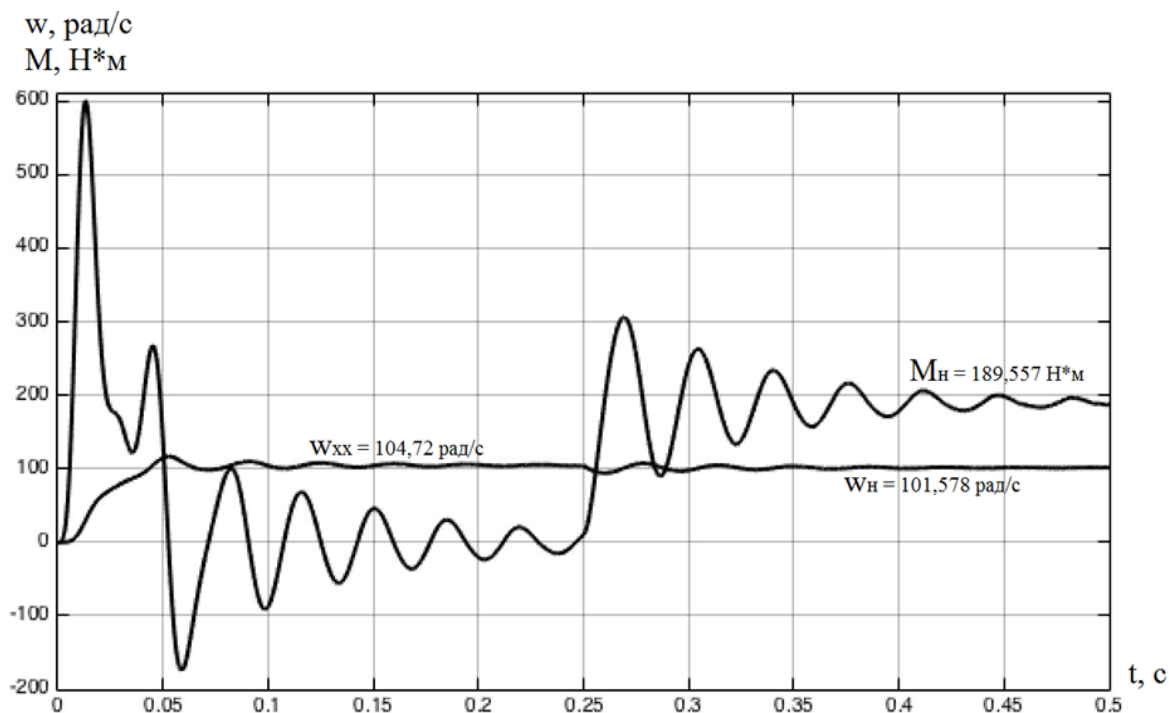


Рисунок 13 – Переходная характеристика частоты вращения ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки

На рисунке 13 видно, что при пуске двигателя происходит большой бросок момента. В дальнейшем момент падает до нуля, так как двигатель вращается на холостом ходу. После чего происходит наброс нагрузки и момент становится равным 189,577 Н*м. Скорость на холостом ходу равна синхронной скорости вращения, т. е. 104,72 рад/с. При набросе номинальной нагрузки частота вращения двигателя падает до номинальной частоты вращения – 101,578 рад/с. Установившиеся значения тока (рис.12), момента и скорости (рис.13) хорошо совпадают со значениями тока, момента, и скорости на статических характеристиках.

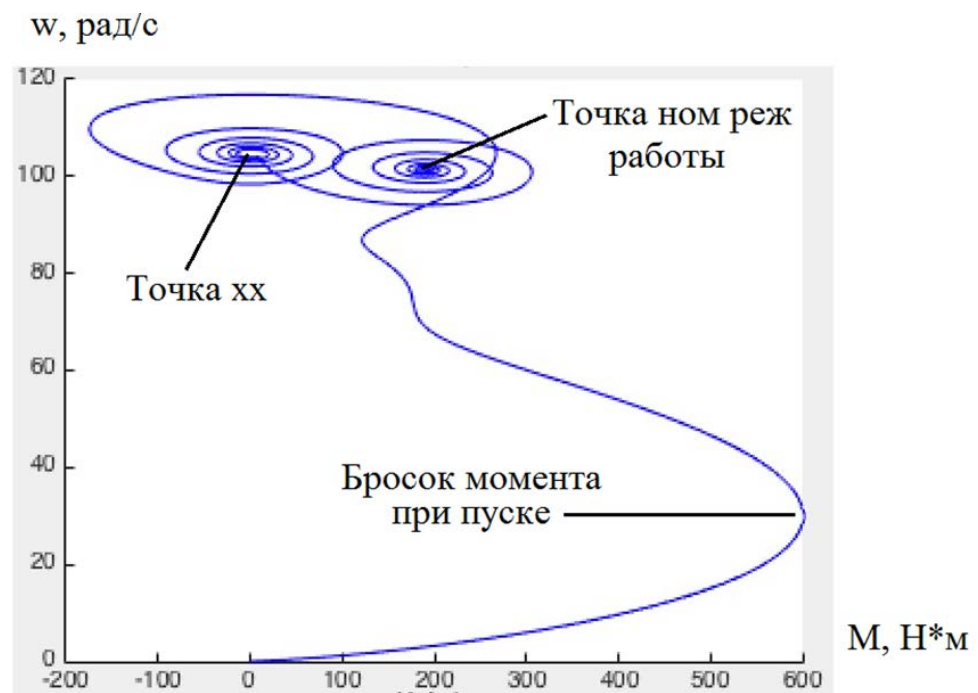


Рисунок 14 – Динамическая механическая характеристика двигателя

Анализ полученных результатов показывает, что переходные процессы асинхронного двигателя колебательные и сходящиеся. Асинхронный двигатель – устойчивое звено, поэтому найденные параметры схемы замещения асинхронного двигателя можно считать приемлемыми и использовать в дальнейшем для расчёта статических и динамических характеристик замкнутых систем.

3.6.1 Выбор типа преобразователя

Выбираем преобразователь частоты фирмы SIEMENS, серии MIDMASTER EC.

Область применения: разработан для использования в области отопления, вентиляции, в установках кондиционирования воздуха. Выбранный преобразователь способен поддерживать скалярное управление.

Преобразователь частоты выбираем из условий:

$$I_{н.пч} \geq I_{н.д.}, \quad P_{н.пч} \geq P_{н.д.}$$

Исходя из тех.задания выбираем преобразователь IC-55, со следующими техническими параметрами (таблица 3):

Таблица 3 – Параметры преобразователя Midmaster

Модель	Типо размер	Число фаз	Напряжение питания, В	Мощность преобразователя, кВт	Номинальный ток, А	Степень защиты
IC-55	7	3	380-500	21,5	102	IP56



Рисунок 6 – Преобразователи частоты серии Midmaster

Характеристики преобразователей частоты серии Midmaster:

Таблица 5 – Характеристики преобразователей частоты серии Midmaster

Напряжение питающей сети	3 фазы, 380-500 В ($\pm 10\%$)
Частота сети, Гц	47-63
Коэффициент мощности (не менее)	0.98
Максимальная выходная частота, Гц	400
Способ управления	Квадратичное U/f^2 Режим оптимизации энергопотребления

Способ торможения	Генераторное Динамическое Комбинированное
Виды защит	Низкое напряжение Перенапряжение Перегрузка по току Перегрузка по мощности Короткое замыкание Перегрев двигателя Перегрев преобразователя
Фиксированные частоты вращения	8
Аналоговые входы	2 (0 В до 10 В, 2 В до 10 В, -10 В до +10 В, 0/4 до 20 мА)
Аналоговые выходы (параметрируемые)	2 (0/4 до 20 мА)
Уровень защиты	IP20, IP56
Параметры окружающей среды	
температура окружающей среды	От 0°С до +40°С
температура хранения	От -30°С до +70°С

3.7 Обоснование и выбор структурной схемы электропривода пременного тока со скалярным регулированием скорости и компенсацией момента и скольжения

В соответствие с требованиями технического задания электропривод должен обеспечить регулирование скорости в диапазоне равным $D=1 : 5$. Такой диапазон регулирования обеспечивает частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением и положительной обратной связью по току в канале регулирования напряжения или компенсацией момента. Функциональная схема такого электропривода приведена на рис. 15.

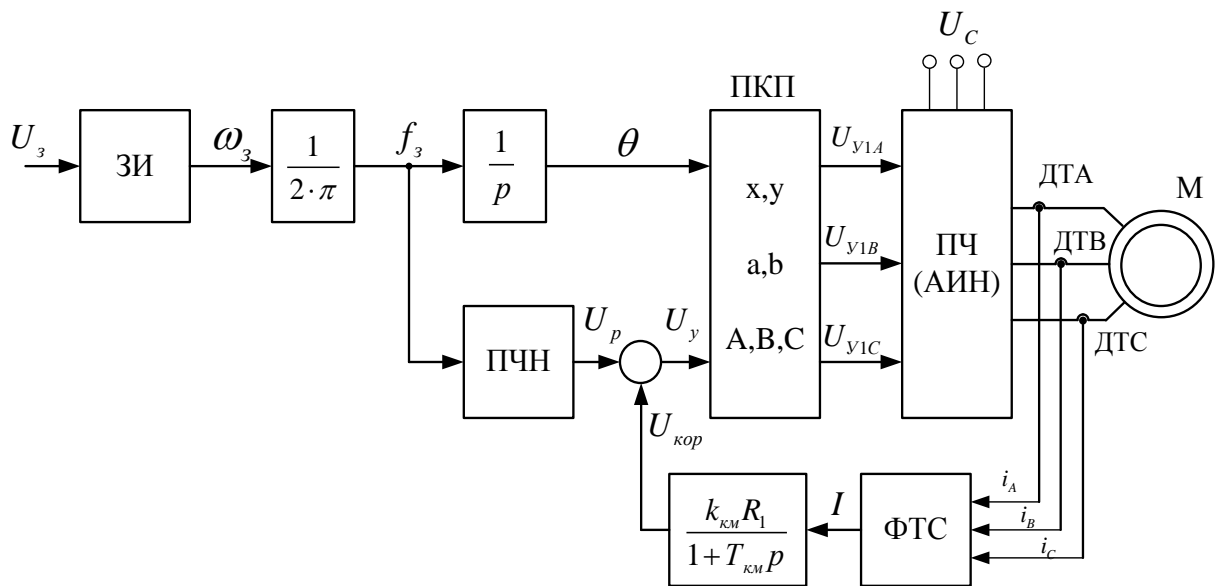


Рисунок 15 - Структурная схема системы скалярного частотного управления с IR-компенсацией

Структурная схема системы скалярного частотного управления приведена на рис. 15. При дистанционном управлении электроприводом сигналом задания скорости является задающее напряжение U_3 . Ему соответствует задающая частота f_3 , в этом случае управление пуском и остановкой двигателя производится с панели управления преобразователя. Блок преобразователь частота–напряжение ПЧН формирует требуемую зависимость скалярного управления между частотой и напряжением преобразователя, чем и устанавливает один из принятых способов частотного регулирования скорости класса E_{1j}/f_{1j} .

При скалярной IR-компенсации сигнал управления U_y является суммой сигналов регулирования U_p и положительной обратной связи по току $U_{кор}$:

$$U_y = U_p + U_{кор} = U_p + k_{км} \cdot R_1 \cdot I ,$$

где $k_{км}$ – коэффициент положительной обратной связи по току; R_1 - активное сопротивление фазы обмотки статора АД; I – сигнал пропорциональный действующим значениям токов i_a , i_b , i_c обмоток статора АД.

3.7.1 Расчет электромеханических и механических характеристик системы

«Преобразователь частоты – асинхронный двигатель» для следующих частот преобразователя: 5, 15, 30, 50 и законом регулирования частоты преобразователя класса:

Коэффициенты IR-компенсации:

$$K_{\text{KM1}} := 0.25 \quad K_{\text{KM2}} := 0.5 \quad K_{\text{KM3}} := 0.75$$

Закон регулирования:

$$\frac{U_{1\text{H}}}{\sqrt{f_{1\text{H}}}} = \text{const} \quad f = \text{var}$$

Относительные значения частот питающего напряжения:

$$\begin{aligned} f_{1\text{H1}} &:= 50 & f_{1\text{Ж1}} &:= \frac{f_{1\text{H1}}}{f_{1\text{H}}} & f_{1\text{Ж1}} &= 1 \\ f_{1\text{H2}} &:= 25 & f_{1\text{Ж2}} &:= \frac{f_{1\text{H2}}}{f_{1\text{H}}} & f_{1\text{Ж2}} &= 0.5 \\ f_{1\text{H3}} &:= 10 & f_{1\text{Ж3}} &:= \frac{f_{1\text{H3}}}{f_{1\text{H}}} & f_{1\text{Ж3}} &= 0.2 \\ f_{1\text{H4}} &:= 5 & f_{1\text{Ж4}} &:= \frac{f_{1\text{H4}}}{f_{1\text{H}}} & f_{1\text{Ж4}} &= 0.1 \end{aligned}$$

Фазные напряжения обмотки статора асинхронного двигателя:

$$\begin{aligned} U_{1\text{H1}} &:= Z_p \cdot \sqrt{f_{1\text{H1}}} & U_{1\text{H1}} &= 220 \\ U_{1\text{H2}} &:= Z_p \cdot \sqrt{f_{1\text{H2}}} & U_{1\text{H2}} &= 155.563 \\ U_{1\text{H3}} &:= Z_p \cdot \sqrt{f_{1\text{H3}}} & U_{1\text{H3}} &= 98.387 \\ U_{1\text{H4}} &:= Z_p \cdot \sqrt{f_{1\text{H4}}} & U_{1\text{H4}} &= 69.57 \end{aligned}$$

Скорости при различных частотах питающего напряжения:

$$\omega_{01} := \frac{2 \cdot \pi f_{1H1}}{p} \quad \omega_{01} = 314.159$$

$$\omega_{02} := \frac{2 \cdot \pi f_{1H2}}{p} \quad \omega_{02} = 157.08$$

$$\omega_{03} := \frac{2 \cdot \pi f_{1H3}}{p} \quad \omega_{03} = 62.832$$

$$\omega_{04} := \frac{2 \cdot \pi f_{1H4}}{p} \quad \omega_{04} = 31.416$$

Шаг расчёта:

$$s := 0, 0.0001 \dots 1$$

Скорость вращения при различных скоростях идеального холостого хода, получаемых при разных частотах питающего напряжения:

$$\omega_1(s) := \omega_{01} \cdot (1 - s)$$

$$\omega_2(s) := \omega_{02} \cdot (1 - s)$$

$$\omega_3(s) := \omega_{03} \cdot (1 - s)$$

$$\omega_4(s) := \omega_{04} \cdot (1 - s)$$

Эквивалентное сопротивление статора с учетом IR-компенсации:

$$R_{1экв} := \begin{bmatrix} R_1 \\ R_1 \cdot (1 - K_{KM1}) \\ R_1 \cdot (1 - K_{KM2}) \\ R_1 \cdot (1 - K_{KM3}) \end{bmatrix}$$

Электромеханические характеристики токов ротора считаются по следующим формулам:

При номинальном напряжении номинальной частоте и $R_{1экв1}$:

$$I'_{211}(s) := \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_{1экв1} + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1ж1}^2 + \left(\frac{R_{1экв1} \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1ж1}}\right)^2}}$$

Электромеханические характеристики с IR-компенсацией, определяющие зависимость тока статора от скольжения:

При номинальном напряжении номинальной частоте и $R_{1экв1}$:

$$I_{111}(s) := \sqrt{I_0^2 + I'_{211}(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_{211}(s) \cdot \sin \left[\frac{X_{кн} \cdot f_{1ж1}}{\sqrt{\left(R_{1экв1} + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{кн}^2 \cdot f_{1ж1}^2}} \right]}$$

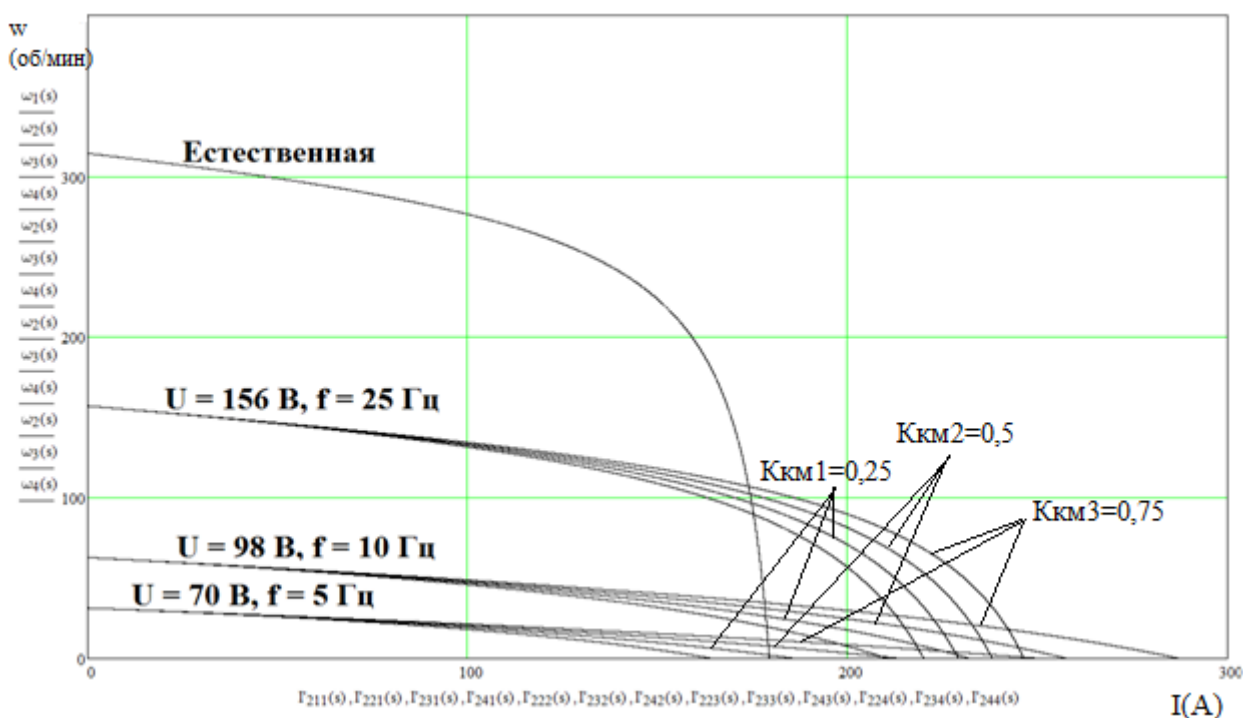


Рисунок 16 – Электромеханические характеристики для токов статора при частотном регулировании скорости с IR-компенсацией

Механические характеристики асинхронного двигателя с IR-компенсацией при переменных значениях величины и частоты напряжения питания.

При номинальном напряжении номинальной частоте и $R_{1экв1}$:

$$M_{11}(s) := \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R'_2}{\omega_{01} \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 \cdot f_{1ж1}^2 + \left(R_{1экв1} + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_{1экв1} \cdot R'_2}{s \cdot X_{μH} \cdot f_{1ж1}} \right)^2 \right]}$$

3.7.2 Анализ полученных результатов

При работе на естественной характеристике ($f=50$ Гц) IR-компенсация не действует, так как фазное напряжение повышаться выше номинального не может.

Из анализа рисунка 16-17 следует, что при увеличении коэффициента компенсации момента K_{KM} токи короткого замыкания $I_{КЗ}$ имеют большие значения, причем эти различия тем больше, чем меньше частота напряжения обмоток статора f_1 . Это объясняется тем, что при малых частотах больше доля падения напряжения на активном сопротивлении R_1 , следовательно, больше доля компенсации.

При увеличении коэффициента компенсации момента K_{KM} критический момент увеличивается, а характеристики становятся более жесткими. На графике различия в критическом и пусковом моментах при различных K_{KM} существенно заметны. Это объясняется тем, что мощность двигателя достаточно велика и сопротивление его статорной обмотки мало, отсюда следует что падение напряжения на ней невелико.

3.7.3 Разработка схемы имитационной модели электропривода при скалярном частотном регулировании скорости и законом регулирования частоты преобразователя класса $U_{1j}/\sqrt{f_{1j}} = const$ с компенсацией момента

Схема имитационной модели системы электропривода при скалярном частотном регулировании скорости и законом регулирования частоты преобразователя класса $U_{1j}/\sqrt{f_{1j}} = const$ с компенсацией момента приведена на рисунке 18. Сигнал управления является входным для прямого координатного преобразователя (ПКП), на выходе которого формируется три синусоидальных напряжения управления U_{1yA} , U_{1yB} , U_{1yC} сдвинутые относительно друг друга на угол $\pm 2\pi/3$, с амплитудами пропорциональными напряжению управления. Сигналы U_{1yA} , U_{1yB} , U_{1yC} формируют фазные напряжения на выходе автономного инвертора напряжения (АИН) [2].

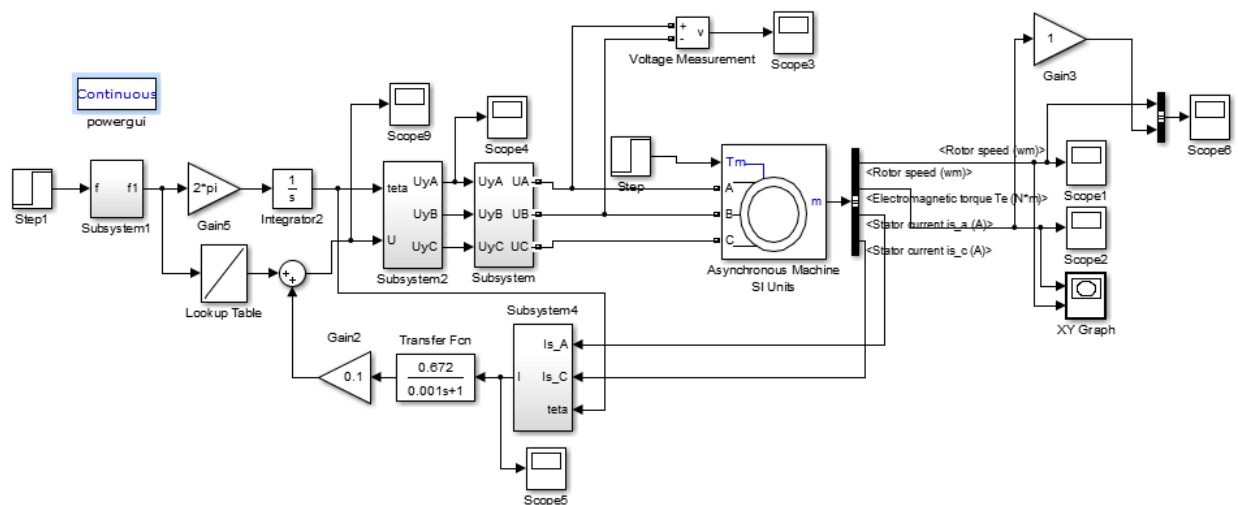


Рисунок 18 - Имитационная модель замкнутой системы ПЧ-АД с IR-компенсацией

На рисунке 19 представлены математически рассчитанная и аппроксимированная ломаными линиями кривые зависимости $U_{1j}/\sqrt{f_{1j}} = const$.

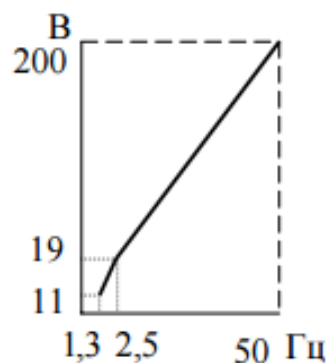


Рисунок 19 – Кривая зависимости $U(f)$

Кривая задается в блоке ПЧН тремя точками:

1. $f = 1,3 \text{ Гц}$, $U = 11 \text{ В}$.

2. $f = 2,5 \text{ Гц}$, $U = 19 \text{ В}$.

3. $f = 50 \text{ Гц}$, $U = 200 \text{ В}$.

Инвертор напряжения представим апериодическим звеном. Его передаточная функция:

$$W_{ин}(p) = \frac{k_{ин}}{T_{ин} \cdot p + 1} = \frac{1}{0,0001 \cdot p + 1},$$

где $k_{ин} = 1$ - коэффициент передачи инвертора;

$$T_{ин} = \frac{1}{f_{нч}} = \frac{1}{10000} = 0,00001 - \text{постоянная времени запаздывания автономного}$$

инвертора напряжения,

где $f_{нч} = 10000 \text{ Гц}$ – несущая частота инвертора.

Положительная обратная связь по току представляется апериодическим звеном:

$$W_{\partial m}(p) = \frac{k_{\kappa\text{М}}}{T_{\kappa\text{М}} \cdot p + 1} = \frac{0,1}{0,001 \cdot p + 1},$$

где $k_{\kappa\text{М}}$ – коэффициент положительной обратной связи по току;

$T_{\kappa\text{М}}$ – постоянная времени задержки контура тока, время достаточное для определения мгновенного значения тока статора асинхронного двигателя с современными контроллерами составляет $T_{\kappa\text{М}} = 0,001$.

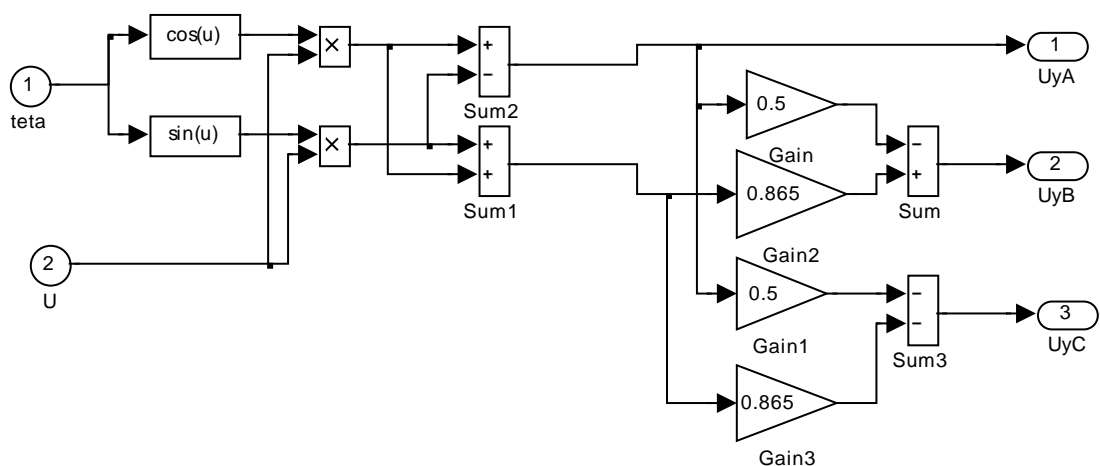


Рисунок 20 - Имитационная модель прямого координатного преобразователя

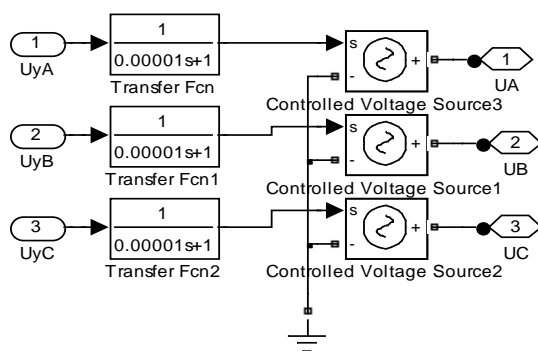


Рисунок 21 - Имитационная модель преобразователя частоты

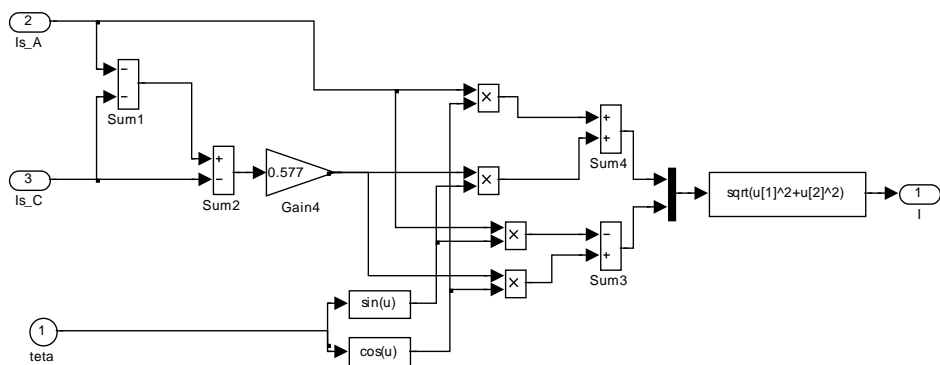


Рисунок 22 - Имитационная модель обратного координатного преобразователя

Переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД и динамическую механическую характеристику при пуске с коэффициентом ИР-компенсацией $k_{\text{КМ}} = 0,1$ приведены на рис. 23.

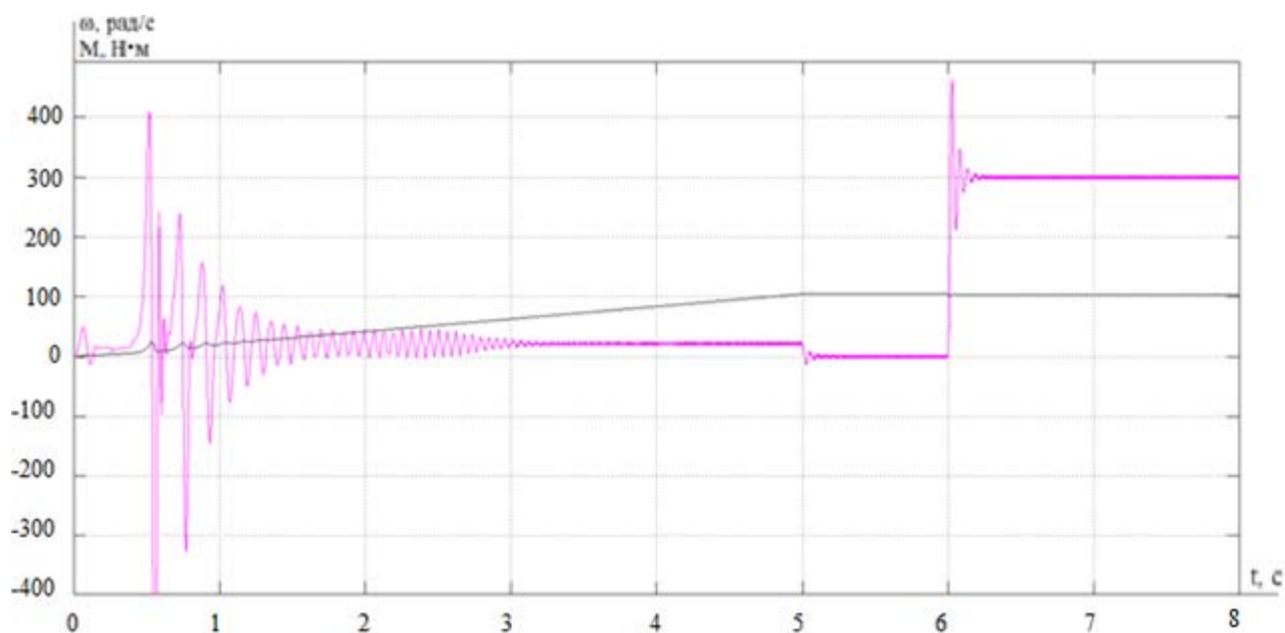


Рисунок 23 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске и последующем набросе нагрузки $K_{cm}=0,25$

Для сравнения снимем переходные характеристики скорости ротора и электромагнитного момента АД и динамическую механическую характеристику при пуске с коэффициентом IR- компенсации $K_{cm}=0,5$.

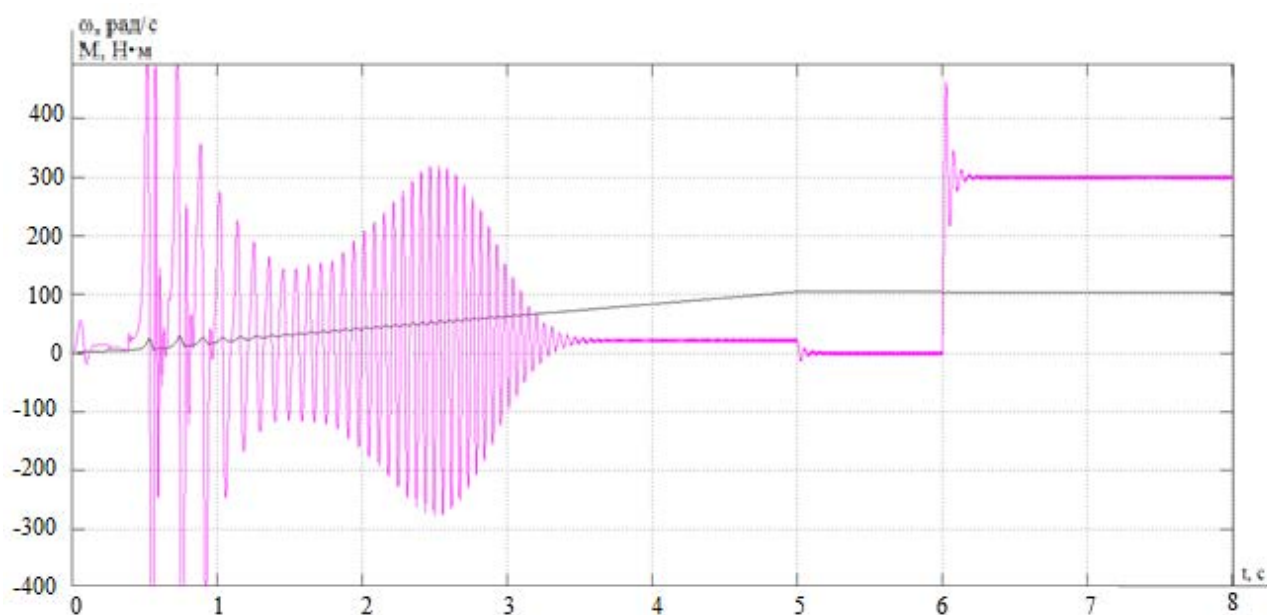


Рисунок 24 – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при пуске и последующем набросе нагрузки $K_{cm}=0,5$

Как видно из полученных характеристик при увеличении коэффициента

IR -компенсации, колебания электромагнитного момента двигателя увеличиваются, положительная и обратная связь не способствует устойчивости системы. Поэтому в разработанном электроприводе коэффициент компенсации момента более 0,5 применять нецелесообразно.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Буда Владимиру Сергеевичу

Инженерная школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавр	Направление	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя - 20800 руб. Оклад инженера - 17000руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 30% районный коэффициент
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	27,1% отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений SWOT – анализ
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>График Ганта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Калмыкова Е.Ю.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Буда Владимир Сергеевич		

ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данной работы является определение экономических показателей проектирования электропривода насоса для цемента. Для этого необходимо провести анализ конкурентных технических решений, определить трудоемкость проводимых работ, создать график проведения работ, а также сформировать бюджет затрат.

4.1 Анализ конкурентных технических решений

Целью данного раздела является применение оценочной карты для выбора типа исполнения электропривода.

Объектом анализа будет являться электропривод насоса для цемента. Для того, чтобы наиболее точно провести анализ нужно использовать всю информацию, которая доступна о конкурентных разработках.

Для сравнения берутся два типа исполнения электропривода: преобразователь частоты и тиристорный регулятор напряжения. Для сравнения были выбраны следующие технические критерии: энергопотребление, помехоустойчивость, диапазон регулирования скорости, удобство в эксплуатации, надежность и такие экономические критерии как: цена, послегарантийное обслуживание, заявленный срок эксплуатации.

Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели оценки качества проекта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		ТРН	ПЧ	$K_{ТРН}$	$K_{ПЧ}$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки					
1. Энергопотребление	0,22	7	5	1,54	1,1

Продолжение таблицы 1

2. Помехоустойчивость	0,16	5	4	0,8	0,64
3. Диапазон регулирования скорости	0,25	8	5	2	1,25
4. Удобство в эксплуатации	0,16	5	4	0,8	0,64
5. Надежность	0,19	6	6	1,14	1,14

Существует формула, при помощи которой мы сможем провести анализ конкурентных технических решений:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

где К –конкурентоспособность научной разработки или конкурента; В_і – вес показателя (в долях единицы); В_і – средневзвешенное значение і-го показателя.

Таблица 2 – Определение коэффициента весомости по методу парного сравнения

Оцениваемые параметры	Оцениваемые параметры					Σ, расчет веса критерия
	А	Б	В	Г	Д	
А	-	1	2	2	2	7/31=0,22
Б	1	-	1	1	2	5/31=0,16
В	2	2	-	2	2	8/31=0,25
Г	1	1	1	-	2	5/31=0,16
Д	1	2	2	1	-	6/31=0,19
ИТОГО:	5	6	6	6	8	31

Пояснения к таблице:

А – Энергопотребление;

Б – Помехоустойчивость;

В – Диапазон регулирования скорости;

Г – Удобство в эксплуатации;

Д – Надёжность.

Пример расчета конкурентоспособности:

$$K = 0,15 \times 7 = 1,05$$

Расчет конкурентоспособности по всем техническим критериям оценки:

$$K(\text{ТРН}) = 1,54 + 0,8 + 2 + 0,8 + 1,14 = 6,28$$

$$K(\text{ПЧ}) = 1,1 + 0,64 + 1,25 + 0,64 + 1,14 = 4,77$$

По результатам, приведенным в таблице 1, следует вывод, что лучше применять электропривод на базе тиристорный регулятор напряжения потому, что он лучше по таким критериям как: энергопотребление, диапазон регулирования скорости, удобство в эксплуатации и помехоустойчивость.

4.2 SWOT – анализ

Одним из инструментов, позволяющим оценить потенциал проекта, является SWOT – Анализ. SWOT – анализ заключается в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: strengths – сильные стороны, weaknesses – слабые стороны, opportunities – возможности, threats – угрозы.

Результаты проведенного анализа сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Матрица решений

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Повышение производительности труда.</p> <p>С3. Высокий срок эксплуатации.</p> <p>С4. Надежность данной системы по сравнению с другими.</p> <p>С6. Универсальность схемы управления.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Высокая стоимость</p> <p>Сл2. Требуется переквалификация персонала</p> <p>Сл3. Сложности в устранении неполадок</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Повышение спроса на дорогостоящие, но надежные и удобные преобразователи частоты</p> <p>В2. Увеличение спроса на данный тип насосной установки</p> <p>В3. Увеличение функциональной мощности</p>	<p>1. Высокая стоимость ПЧ может склонить инвесторов и потребителей в сторону использования – ТРН</p> <p>2. Увеличение вероятности безотказной работы за счет установки дополнительных защитных устройств</p> <p>3. Возможность работы на неименной частоте за счет использования фазного регулирования</p>	<p>1. Упрощенная регулировка скорости вращения электропривода за счет преобразователя частоты</p> <p>2. Для эффективного использования возможностей ТРН потребуется затратить время на переквалификацию рабочего персонала</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Нестабильность российской валюты</p> <p>У2. Повышение конкурентоспособности зарубежных аналогов за счет внедрения более современного оборудования</p> <p>У3. Нежелание руководящего состава энергообъектов переводить устаревшее оборудование на более современное</p> <p>У4. Недостатки ТРН могут отпугнуть некоторых потребителей</p>	<p>1. Возможности современного ТРН позволяют привлечь иностранных инвесторов, что нивелирует нестабильность валюты</p> <p>2. Высокая надежность, удобность ТРН и плавность регулирования скорости по температуре будут основными причинами для перехода с ПЧ на ТРН</p>	<p>1. Ввиду низкой зарплаты работников из-за нестабильности валюты персонал может отказаться от переквалификации</p> <p>2. Устаревшие ТРН требуют затрат на обслуживание и подключение дополнительных релейных защит, что может отрицательно сказаться на инвестициях в эту технологию</p>

После проведения SWOT-анализа следует вывод, что успех данного проекта в основном зависит от того на сколько можно заинтересовать

потребителей в переходе на более современное оборудование, и выйдя на рынок, создать конкуренцию зарубежным аналогам, а также отбить желание покупать дорогостоящее оборудование.

4.3 Планирование научно – исследовательских работ

Планирование работ является важным аспектом при проектировании. Он позволяет выполнять проект точно в срок, а также позволяет довольно точно рассчитать заработную плату работников занимающихся проектированием. Над данным проектом работает команда из двух человек – руководитель проекта и проектировщик. Каждый из них выполняет свои обязанности, но некоторую часть работы они выполняют вместе.

Этапы работ представлены в таблице 3.

Таблица 4 – Этапы работ

№	Описание работы	Исполнитель
1	Разработка технического задания	Руководитель проекта
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер-проектировщик
3	Подбор направления исследования	Руководитель проекта и инженер-проектировщик
4	Календарное планирование по теме	Руководитель проекта
5	Расчет параметров электродвигателя	Инженер-проектировщик
6	Выбор электродвигателя и ТРН	Инженер-проектировщик
7	Расчет параметров схемы замещения	Инженер-проектировщик
8	Моделирование	Инженер-проектировщик
9	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель проекта

Продолжение таблицы 4

10	Разработка силовой схемы регулируемого электропривода и выбор аппаратуры управления и защиты	Инженер-проектировщик
11	Оценка результатов	Руководитель проекта
12	Обработка документации	Инженер-проектировщик
13	Составление отчета по проекту	Инженер-проектировщик

В ходе данного раздела работы был составлен перечень работ, необходимый для успешной реализации проекта. Как можно заметить, НИ будет содержать 13 основных этапов работ, разделенных между двумя исполнителями – инженером-проектировщиком и руководителем проекта. Данное планирование позволяет эффективно распределить трудовые ресурсы и практически полностью избежать растрат времени на согласование работ.

Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, потому что зависит от многих факторов, которые очень трудно учесть. Для того, чтобы определить ожидаемое значение трудоемкости $t_{ожі}$ воспользуемся формулой [?]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дней;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дней.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дней.

После того, как были определены ожидаемые трудоемкости работ,

необходимо определить продолжительность каждой работы в днях T_p , за счет которой можно учесть параллельность выполнения работ одновременно несколькими исполнителями. Также сможем точно рассчитать заработную плату, так как удельный вес заработной платы в общей смете стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дней;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек.

Пример расчета трудоемкости и продолжительности работы №2:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 6}{5} = 4,2;$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i} = \frac{4,2}{1} = 4,2 \approx 4.$$

Данные по продолжительности работ сведены в таблицу 5.

Таблица 5 - Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{ожи}$, чел-дни					
	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.	Руковод.	Инж.-проект.
1	1	-	2	-	1.4	-	1	-	1	-
2	-	3	-	6	-	4,2	-	4	-	6
3	2	2	3	3	2,4	2,4	1	1	1	1

Продолжение таблицы 5

4	1	-	3	-	1,8	-	2	-	3	-
5	-	2	-	5	-	3,2	-	3	-	4
6	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	9
7	-	5	-	8	-	6,2	-	6	-	9
8	-	11	-	17	-	13,4	-	13	-	19
9	4	-	7	-	5,2	-	5	-	7	-
10	-	5	-	8	-	6,2	-	6	-	9
11	1	-	3	-	1,8	-	2	-	3	-
12	-	5	-	7	-	5,8	-	6	-	9
13	-	6	-	9	-	7,2	-	7	-	10

Таблица 6 – Итоги планирования работ

Общее количество рабочих дней для выполнения работы	62
Общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер-проектировщик	52
Общее количество рабочих дней, в течение которых работал руководитель проекта	11

В данном пункте был рассчитан и построен календарный график выполнения работ. Судя по графику, следует вывод, что проектирование нужно начать 8 февраля и закончить 8 мая 2018 года.

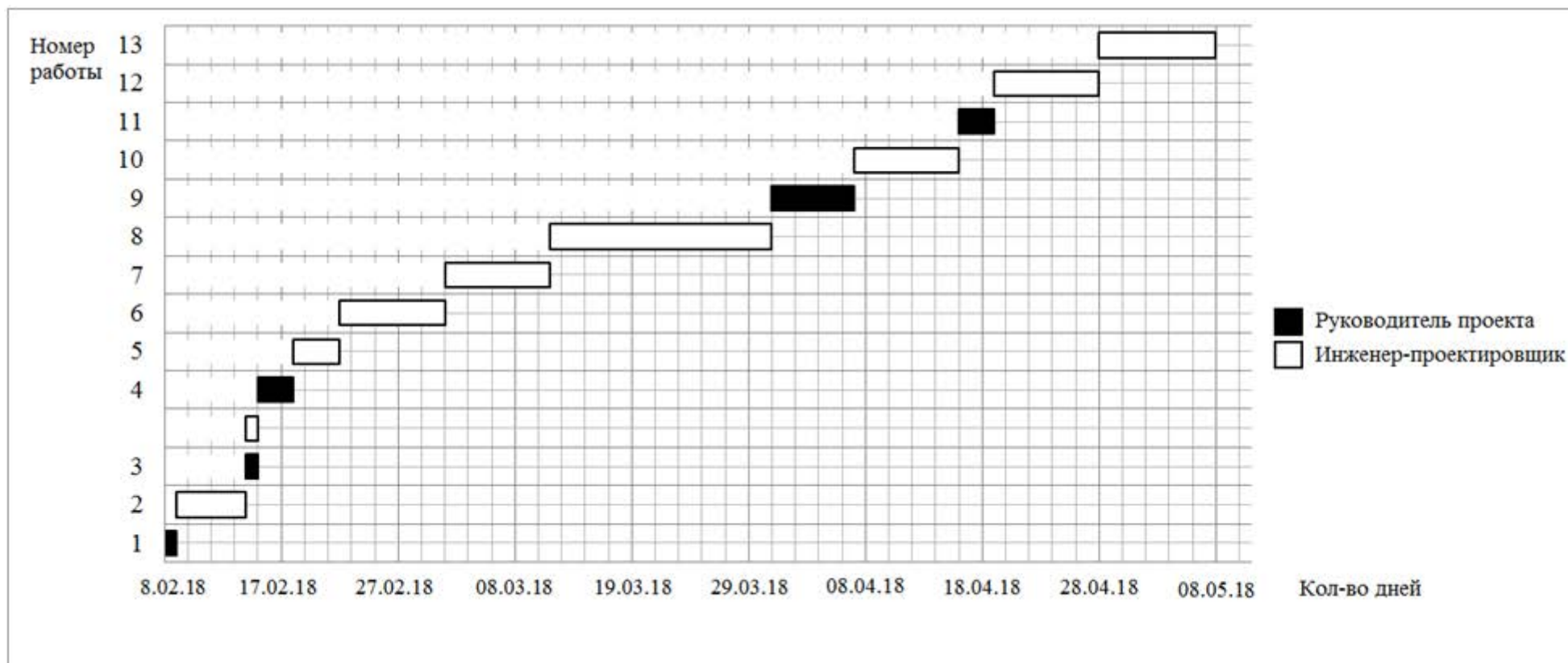


Рисунок 1 - График Ганта

4.4 Бюджет научно – технического исследования (НТИ)

Для того, чтобы запланировать бюджет НТИ необходимо рассмотреть все виды расходов, которые связаны с его выполнением. При формировании бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- 1) Амортизация;
- 2) Заработная плата;
- 3) Отчисления во внебюджетные фонды;
- 4) Накладные расходы.

Амортизация

В данном пункте будет рассчитана амортизация ноутбука, необходимого в работе над проектом.

Пусть срок эксплуатации ноутбука 3 года. Отсюда следует, что норма амортизации за месяц равна:

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\%$$

$$K = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33\%$$

где n – срок полезного использования в годах.

Найдем амортизацию:

$$A = \frac{K \cdot I}{12 \cdot 30} \cdot m_p$$

$$A = \frac{0,33 \cdot 40000}{12 \cdot 30} \cdot 88 = 3226,7 \text{ руб.}$$

где I – итоговая сумма в тыс. руб.;

m – время использования в днях.

Основная заработная плата исполнителей

В этом разделе нам необходимо рассчитать основную заработную плату руководителя и проектировщика. Зарплата работников в первую очередь зависит от трудоемкости выполняемых работ, а также системы окладов и тарифных ставок. Также в зарплату включается премия, которая выплачивается

ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от тарифа или оклада. В нашем же случае премиальный коэффициент составляет 30% от зарплаты.

Статья включает основную заработную плату работников и дополнительную зарплату.

$$Z_{zn} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ - основная зарплата;

$Z_{доп}$ - дополнительная зарплата (15% от $Z_{осн}$).

По формуле рассчитаем основную зарплату руководителя проекта:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

где T_p - продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн.

$Z_{дн}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Рассчитаем среднедневную заработную плату по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_{\partial}}$$

Для 5 – дневной недели (инженер-проектировщик):

$$Z_{дн} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.},$$

Для 6 – дневной недели (руководитель проекта):

$$Z_{дн} = \frac{40560 \cdot 10,4}{247} = 1707,8 \text{ руб.}$$

где Z_M - месячный должностной оклад работника, руб.:

$$Z_M = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) \cdot k_p$$

Для руководителя проекта:

$$Z_M = 20800 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 40560 \text{ руб.}$$

Для инженера-проектировщика:

$$Z_M = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

где $Z_{мс}$ - зарплата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} - премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_{∂} - коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2;

k_p - районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска);

M – количество месяцев работы без отпуска в течении года.

F_{∂} - действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 6.

Таблица 6 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{мс}$, руб.	k_{np}	k_{∂}	k_p	$З_M$, руб.	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель проекта	20800	0,3	0,2	1,3	40560	1707,8	11	18785,8
Проектировщик	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	52	90641,2
Итог:								109427

Дополнительная заработная плата исполнителей

По формуле находится дополнительная заработная плата:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}$$

Руководитель проекта: $З_{доп} = 0,15 \cdot 18785,8 = 2817,87 \text{ руб.}$,

Проектировщик: $З_{доп} = 0,15 \cdot 90641,2 = 13596,18 \text{ руб.}$,

где $k_{доп}$ - коэффициент дополнительной заработной платы.

Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп})$$

Руководитель проекта: $З_{внеб} = 0,271 \cdot (18785,8 + 2817,87) = 5854,6 \text{ руб.}$,

Инженер-проектировщик: $З_{внеб} = 0,271 \cdot (90641,2 + 13596,18) = 28248,33 \text{ руб.}$,

где $k_{внеб}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Накладные расходы

Накладные расходы – это прочие затраты организации. По формуле накладные расходы руководителя проекта и инженера-проектировщика:

$$Z_{накл} = k_{нр} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4)$$

$$Z_{накл} = 0,16 \cdot (16414,05 + 1191,7 + 34102,93 + 109427) = 25781,7 \text{ руб.},$$

где $k_{нр}$ - коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Формирование бюджета затрат научно – технического исследования

В основу формирования бюджета входит величина НТИ. При заключении договора с заказчиком, этот бюджет затрат проекта должен защищаться научной организацией. Он является нижним пределом затрат на разработку научно – технической продукции.

Таблица 7 – Бюджет затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	%
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	109427	58,6
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16414,05	8,8
Амортизация	3226,7	1,7
Отчисления во внебюджетные фонды	34102,93	18,2
Накладные расходы	25781,7	13,8
Бюджет затрат НТИ	188952,38	100

Сформировав таблицу результатов, делаем вывод, что бюджет затрат НТИ равен 186917,38 руб. Как и упоминалось ранее, основной процент бюджета затрат НТИ составляет основная заработная плата – 58,6%, а самый малый процент занимает амортизация – 1,7%.

4.5 Вывод исследования

В результате выполнения задания данного раздела был проведен анализ конкурентных технических решений и был выбран тип исполнения электропривода.

Далее был проведен SWOT – анализ, который помог нам оценить различные факторы и явления, влияющие на проект. С помощью данного анализа были выявлены положительные и отрицательные стороны и выбран тип исполнения нашего проекта;

Был составлен план – график выполнения работ каждого из участников: руководителя проекта и инженера-проектировщика. В итоге получили следующие данные: общее количество дней на выполнение проекта – 62 дня, общее количество дней работы инженера-проектировщика – 52 дня, а количество рабочих дней руководителя проекта – 11 дней;

Рассчитали бюджет НТИ, который необходим для осуществления данного проекта. Он составил 188952,38 руб.;

Реализация электропривода насосной установки является очень актуальной для многих предприятий из-за уменьшения энергозатрат.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г4Б	Буда Владимиру Сергеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p><i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <p><i>1.1. вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i></p> <p><i>1.2. опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</i></p> <p><i>1.3. негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</i></p> <p><i>1.4 чрезвычайных ситуаций (техногенного, природного, экологического и социального характера)</i></p>	<p><i>Территория лаборатории с главным объектом рассмотрения исследования – зарядным устройством. Необходимо поддержание:</i></p> <p><i>1.1. Нормативных метеоусловий, уровней вибрации и шума;</i></p> <p><i>1.2. Нормативных мер обеспечения электро- и пожаробезопасности.</i></p> <p><i>1.3. Нормативных мер защиты окружающей среды от воздействия предприятия (механического цеха).</i></p> <p><i>1.4. Нормативных мер по предотвращению вероятных ЧС и ликвидации их последствий.</i></p>
<p><i>2. Ознакомление и отбор законодательных и нормативных документов по теме и отбор их.</i></p>	<p><i>ГОСТ 12.0.003-74 «ОиВПФ»;</i></p> <p><i>ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;</i></p> <p><i>ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»;</i></p> <p><i>ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность»;</i></p> <p><i>ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.;</i></p> <p><i>№123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008;</i></p> <p><i>ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения эл. током».</i></p> <p><i>Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования «Город Томск» ».</i></p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <p><i>1.1. физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i></p>	<p><i>Наиболее значимые вредные факторы:</i></p> <p><i>1. Шум</i></p> <p><i>2. Вибрации</i></p> <p><i>3. Недостаточное освещение</i></p> <p><i>4. Микроклимат</i></p>

1.2. действие фактора на организм человека; 1.3. приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); 1.4. предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности 2.1. механические опасности (источники, средства защиты); 2.2. термические опасности (источники, средства защиты); 2.3. Опасность электропоражения (в т.ч. статическое электричество, поражение молнией – источники, средства защиты); 2.4. Опасность загораний (пожаров) (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	Наиболее вероятно воздействие на персонал следующих опасных факторов: 1. Опасность электропоражения; 2. Пожаровзрывоопасность. 3. Воздействие химических веществ
3. Охрана окружающей среды: 3.1. анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 3.2. анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); 3.3. анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);	По п.3.1.: разработать или описать систему обращения с выбросами механического цеха. По п.3.2.: разработать или описать систему обращения со сбросами. По п.3.3. описать систему обращения с твердыми отходами цеха в соответствии с постановлениями Правительства РФ от 03.09.2010 №681 и Администрации г. Томска от 11.11 2009 №1110(с изменениями от 24.12. 2014г.).
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: 4.1. перечень возможных ЧС на объекте; 4.2. выбор наиболее типичных ЧС; 4.3. разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;	Одни из наиболее вероятных ЧС: пожары, электропоражения. Разработать мероприятия по предотвращению пожаров, электропоражений и других ЧС и ликвидации их последствий.
Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	
Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.03.2018
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин Владимир Филиппович	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г4Б	Буда Владимир Сергеевич		

5.СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

5.1 Введение

Целью разработки настоящего раздела является принятие проектных решений, исключающих несчастные случаи и профессиональные заболевания в производстве, обеспечивающих снижение вредных воздействий на окружающую среду, безопасность в чрезвычайных ситуациях, экономное расходование ресурсов.

Рассмотрение данных вопросов отвечает требованиям международного стандарта ICCSR-26000:2011 к деятельности организаций в области социальной ответственности по тем разделам его модулей, по которым должны быть приняты указанные проектные решения.

5.2 Анализ вредных факторов

Частью технологического процесса производства платы зарядного устройства является сверление и шлифовка, что в свою очередь являются источником повышенного уровня шума и является вредным фактором производственной среды. Поэтому в качестве защиты человека от шума используются средства индивидуальной защиты, защитные экраны.

Также опасность может представлять повышенный уровень паров свинца и других элементов при пайке и обработке платы. На данном этапе основные меры экологической безопасности, охраны здоровья и безопасности работников связаны с поддержанием чистоты в рабочих помещениях и личной гигиеной операторов, занятых нанесением пасты припоя на поверхность трафаретов, очисткой приспособления для нанесения пасты и трафаретов. Концентрация свинца в припое и липкость высохшей пасты обуславливают необходимость использования защитных перчаток, тщательной очистки рабочих поверхностей, удаления загрязненных чистящих материалов и строгого соблюдения правил личной гигиены (в отношении мытья рук с мылом перед едой, питья и нанесением косметики). Концентрация свинца в воздухе обычно ниже предела обнаружения, и при соблюдении правил личной гигиены и

гигиены помещений показания свинца в крови находятся в норме.

Следующий вредный фактор – недостаток естественного света, при работе в условиях недостаточной освещённости, связанным с временем суток и погодными условиями. Пониженная контрастность в взаимодействии с плохой освещенностью является наиболее опасным для зрительных органов работника и может привести к травмам, при работе с движущимися частями установки. Простым решением для снижения риска является установка дополнительных источников освещения в лаборатории.

Возможные отклонения параметров метеоусловий от нормы. В частности, вредным фактором является пониженная подвижность воздуха, связанная с плохой вентилируемостью лаборатории, в связи с отсутствием вентиляционной системы. Следствием наличия теплоотдающих при работе элементов установки будет повышенная температура воздуха рабочей зоны, которая пагубно влияет на состояние человека. Для решения этой проблемы нужно установить вентиляционную систему и систему кондиционирования.

5.2.1 Шум

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом — это работа насосов, вентиляторов и др. Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Для защиты от шума по СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 и вибрации по СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 предусматриваются:

- обеспечение персонала индивидуальными средствами защиты;

- установка звукоизолирующих кабин;
- звукоизолирующие кожухи и экраны;
- виброизолирующие материалы под оборудование (пружины, резины и другие прокладочные материалы).

Предельно допустимые уровни шума представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ									По шкале
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

5.2.2 Вибрация

Одним из наиболее опасных для человеческого организма производственных факторов является вибрация. Под вибрацией понимается колебание твёрдых тел.

Большое негативное воздействие этот фактор оказывает на отделы центральной нервной системы, желудочно-кишечного тракта и вестибулярного аппарата человека. Длительное воздействие вибрации на организм приводит к развитию профессиональных заболеваний, основным из которых является – виброболь, сопровождающаяся головокружением, онемением нижних конечностей и потерей ориентации в пространстве.

Большую опасность для организма представляют вибрации частотой 6-9 Гц, так как эти частоты наиболее близки к собственным частотам внутренних органов человека. Совпадение частоты вибрации и внутреннего органа приведёт к резонансному явлению, в результате чего начнётся процесс разрушения.

Санитарные нормы вибрации представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Санитарные нормы вибрации

Среднегеометрические частоты октавных	*Предельно допустимые значения по осям $X_{\text{п}}, Y_{\text{п}}, Z_{\text{п}}$
---------------------------------------	---

полос, Гц	виброускорения		виброскорости	
	м/с	дБ	м/с·10	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112
* Работа в условиях воздействия вибрации с уровнями, превышающими настоящие санитарные нормы более чем на 12 дБ (в 4 раза) по интегральной оценке или в какой-либо октавной полосе, не допускается.				

Для защиты от вибрации применяются средства индивидуальной защиты для рук, ног и тела оператора. В качестве средства защиты для рук применяются рукавицы и перчатки, вкладыши и прокладки по ГОСТ 12.4.002 "Система стандартов безопасности труда. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний".

Виброзащитная обувь изготавливается в виде сапог, полусапог, в конструкции низа которых используется упруго-демпфирующий материал (ГОСТ 12.4.024 "Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная виброзащитная. Общие технические требования").

5.2.3 Недостаток естественного света

Согласно научным исследованиям, отсутствие или недостаток естественного освещения на рабочем месте может вызвать ухудшение самочувствия, привести к потере сна и ослаблению здоровья. Специалисты полагают, что причина отрицательного воздействия может заключаться в изменении циркадных ритмов из-за недостатка естественного света. Поэтому следует уделять большее внимание достаточному дневному освещению для

укрепления здоровья и морального состояния работников.

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях отсутствия естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- улучшение условий путем использования искусственного освещения;
- защита временем, то есть сокращение продолжительности пребывания работников в помещении без естественного освещения;
- профилактическое ультрафиолетовое облучение работников. В этом случае источники ультрафиолетового излучения устанавливают рядом с обычными осветительными лампами, за счет чего достигается обогащение обычного искусственного освещения ультрафиолетовым излучением.

При недостатке естественного освещения в помещениях также возможно принятие следующих мер:

- анализ степени загрязненности стекол в светопроемах, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности, который показывает, какая часть наружного освещения попадает на рабочие места производственного помещения;
- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

В зависимости от напряжения зрительного аппарата при выполнении работы освещенность на предприятиях делят на восемь разрядов - от наивысшей точности до общего наблюдения за ходом производственного процесса.

В таблице 3 приведены нормируемые значения КЕО.

Таблица 3 – Нормируемые значения КЕО

Характеристика выполняемой зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Значение КЕО при естественном освещении, %	
			верхнем и комбинированном	боковом
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	10	3,5
Очень высокой точности	0,15 ... 0,30	II	7	2,5
Высокой точности	0,3 ... 0,5	III	5	2,0
Средней точности	от 0,5 до 1,0	IV	4	1,5
Малой точности	от 1 до 5	V	3	1,0
«Грубая работа»	Более 5	VI	2	0,5
Работа с самосветящимися материалами и изделиями в горячих цехах		VII		
Общие наблюдения за ходом производственного процесса:		VIII		
Постоянное наблюдение	-	VIIIa	1	0,3
Периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		VIIIб	0,7	0,2
Периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		VIIIв	0,5	0,1

В данном случае принимаем характеристику выполняемой зрительной работы наивысшей точности (I разряд), так как в условиях лаборатории проходит проверка платы на микроповреждения с использованием микроскопа. Значение КЕО при естественном освещении верхнего и бокового освещения составляет 10% бокового 3,5%.

5.2.4 Микроклимат

Помещение цеха характеризуется:

- наличием большого количества металлического оборудования;
- повышенной температурой.

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата

Сезон года	Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
		По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88	По ГОСТ 12.1.005 – 88
Холодный	Средней тяжести	17 – 19	40 – 60	0,3
Тёплый со значительным избытком тепла	Средней тяжести	20 – 22	40 – 60	0,2 – 0,5

Для обеспечения нормального микроклимата предусматривается, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1), следующее:

- вентиляция приточно-вытяжная по СНиП 2.04.05 – 91* (28.11.91) установка центробежных вентиляторов. Кратность воздухообмена 1;
- установка систем воздушного отопления, совмещённых с вентиляцией;

Предусмотренные мероприятия обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с нормами, представленными в таблице 1.

В соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548 – 96(1) значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются, для рабочей зоны производственных помещений, в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины явного избытка тепла, выделяемого в помещении и периода года.

5.3. Анализ опасных факторов

Проведем анализ опасных производственных факторов в вышеописанном технологическом процессе исследования и проверки платы зарядного устройства. Основным опасным фактором является возможность поражения человека электрическим током, так как работа производится с рабочими электрическими установками. Для снижения уровня опасности

проводится заземление электроустановок и полное или частичное ограждение токоведущих частей. Данные операции должны производиться на основании [10 - 13].

Следующая опасность заключается в том, что работа проводится с высокотемпературным оборудованием, что может привести к возгораниям. Для снижения риска необходимо строго соблюдать технику безопасности, а также установка противопожарных датчиков.

5.3.1 Электропоражение

Электропоражение персонала, работающего с электроустановками, является опасным для жизни человека и наступает при соприкосновении его с сетью не менее чем в двух точках. При разработке коллективных и индивидуальных средств защиты от электропоражения необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие вопросы:

- обоснование категории помещения по степени опасности поражения электрическим током;
- требования к электрооборудованию;
- анализ соответствия реального положения на производстве перечисленным требованиям;
- мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;
- обоснование мероприятий и средств защиты, работающих от поражения электрическим током.

К категориям помещений с повышенным уровнем опасности поражения электрическим током находятся объекты в которых имеются следующие условия:

- Высокая влажность 75% и более
- С токопроводящими полами;
- С наличием заземления, в том числе и на корпус;

- С токопроводящей пылью (волоочильные цехи, угольные мельницы и подобные);
- Жаркие, в которых температура воздуха превышает 35°C;

Рассматриваемая лаборатория относится к помещению без повышенной опасности поражения электрическим током, так как в ней отсутствуют все вышеперечисленные признаки.

5.3.2 Возгорание (пожар)

Пожары – неконтролируемый процесс горения, которые чреваты большими материальными издержками, а часто и человеческими жертвами.

Обеспечение пожаробезопасности начинается с определения класса взрывоопасной зоны или класса пожароопасной зоны данного производственного помещения. Согласно классификации производств по пожарной опасности (ППБ-03) рассматриваемая лаборатория относится к классу В (обработка или применение твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой выше 120 градусов). Т.е. технологический процесс в лаборатории исключает взрывоопасную зону, имеющиеся вещества могут только гореть. Лаборатория имеет пожароопасную зону класса П-2а. Минимальная допустимая степень защиты оболочек электрических машин для данной пожароопасной зоны обозначается IP44. Использование данной степени защиты – одно из направлений профилактики, оно должно быть установлено на объектах, где воздействие опасных факторов пожара может привести к травматизму или гибели людей, этого требует «технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Лаборатория оснащена системой с дымовыми извещателями. Сигналы извещателей включают систему протоколирования информации, формируют управляющую систему тревоги и систему оповещения о пожаре, для своевременной эвакуации людей. Это другое направление профилактики загораний.

Выбор типа и расчет необходимого числа огнетушителей производится в

зависимости от их огнетушащей способности. Из пяти таких классов, лаборатории подходит класс А (пожар твердых веществ) и класс Е (горение электроустановок). Согласно [6] на 800 м² защищаемой площади рекомендуется использовать восемь двухкилограммовых порошковых огнетушителей. Для лаборатории достаточно одного двухкилограммового огнетушителя ОП.

5.4 Защита окружающей среды

Работа в лаборатории сопряжена с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС, травители, катализаторы и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами: надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [15]: бытовой мусор после предварительной сортировки складируют в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства офисное оборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах. Отработанные люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [16]. Люминесцентные лампы, применяемые для искусственного освещения, являются ртутьсодержащими и

относятся к 1 классу опасности. Ртуть люминесцентных ламп способна к активной воздушной и водной миграции. Интоксикация возможна только в случае разгерметизации колбы, поэтому основным требованием экологической безопасности является сохранность целостности отработанных ртутьсодержащих ламп. Отработанные газоразрядные лампы помещают в защитную упаковку, предотвращающую повреждение стеклянной колбы, и передают специализированной организации для обезвреживания и переработки. В случае боя ртутьсодержащих ламп осколки собирают щеткой или скребком в герметичный металлический контейнер с плотно закрывающейся крышкой, заполненный раствором марганцевокислого калия. Поверхности, загрязненные боем лампы, необходимо обработать раствором марганцевокислого калия и смыть водой. Контейнер и его внутренняя поверхность должны быть изготовлены из неадсорбирующего ртуть материала (винипласта).

К сфере защиты окружающей среды и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории предприятия. Во-первых, это улучшает экономические показатели деятельности предприятия (уменьшение расходов на электротепловую энергию). Во-вторых, экономия энергии означает уменьшение газа, мазута, угля, сжигаемого в топках котлов ТЭС и электроустановок (котельных) промпредприятий города Томска и области и одновременное уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Несмотря на кажущуюся малость такого вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

5.5 Предотвращение ЧС и устранение их последствий

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации на рассматриваемом рабочем месте в механическом цехе: возникновение пожара и электропоражение.

5.5.1 Пожар (возгорание) – как источник ЧС

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [5], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно-техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; средств коллективной и индивидуальной защиты от факторов пожара; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей, два ящика с песком 0,5 м³.

Организационно-технические мероприятия: наглядная агитация и инструктаж работающих по пожарной безопасности; разработка схемы действий администрации и работающих в случае пожара и организация эвакуации людей; организация внештатной пожарной дружины.

При обнаружении загорания рабочий немедленно сообщает по телефону 01 в пожарную охрану, сообщает руководителю, приступают к эвакуации людей и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

5.5.2 Электропоражение как источник ЧС

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;

- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [17] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [17] п.413.

Даже если при электропоражении работающий внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

Для предотвращения от поражения электрическим током при прикосновении к корпусам электроустановок, находящихся под напряжением при пробое изоляции или в других случаях, необходимо рассчитать и установить защитное заземление.

Заключение

В заключении можно отметить, что в работе был разработан электропривод сверлильного станка. По результатам исследования были даны практические рекомендации по настройке узлов регулирования. Результаты имитационных и аналитических исследований показывают, что предложенная система электрического привода соответствует требованиям технического задания. Помимо этого, в работе были рассмотрены вопросы техники безопасности и экологичности.

Список используемых источников

1. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев, /М.: Издательство Юрайт, 2018 – 213 с. – Серия: Университеты России.
2. Дементьев Ю.Н., Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Электрический привод. Учебное пособие для академического бакалавриата./М.: Издательство Юрайт, 2016 – 223 с. – Серия: Университеты России.
3. Сандлер А.С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков .- М.: Высш. шк., 1972.-440с.
4. Андреев Г.И. Электроприводы главного движения металлорежущих станков с ЧПУ . – М.: Машиностроение, 1980.-152с.
5. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учеб. Пособие для вузов.- 2-е изд., доп.-М.:Высш.шк., 2000.-255с.,ил.
6. Видяев И.Г. Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А.Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына; ТПУ.- Томск: Изд-во ТПУ, 2014-36с
7. Тепинкичиев В. К. Металлорежущие станки. / «Машиностроение», 1973, 472 с
8. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). « Опасные и вредные производственные факторы. Классификация »
9. ГОСТ 12.1.005-88 « Общие сангигиенические требования к воздуху рабочей зоны »
10. ГОСТ 12.1.003-83 « Шум. Общие требования безопасности »
11. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
12. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т « Пожарная безопасность. Общие требования »

13. СП 9.13130.2009« Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации »
14. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.:Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
15. СНиП П-12-77. «Защита от шума»
16. Охрана окружающей среды/Под ред. С.В.Белова. - М.:Высш.шк..1991
17. Долин П. А. Справочник по технике безопасности. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 824 с.
18. Родинов А.С., В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников. Техника защиты окружающей среды. - М. :Химия. 1989
19. Правила устройства электроустановок. 6-е изд. - Энергоатомиздат. 2000. - 640 с
20. <http://ence.ch/ru/equipment/machining-equipment/>